

Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera

JAIME MATA FALCÓN

**EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera

TESIS DOCTORAL

DEFENDIDA EL 2 DE JULIO DE 2015
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y DE PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

POR

Jaime MATA FALCÓN

DIRECTORES:

Dr. Pedro F. Miguel Sosa
Dr. Luis Pallarés Rubio

TRIBUNAL - EVALUADORES:

Dr. Antonio Marí Bernat, presidente tribunal
Dr. Miguel Ángel Fernández Prada, secretario tribunal
Dr. Juan Sagaseta Albajar, vocal tribunal
Dr. Jesús Miguel Bairán García, evaluador
Dr. Ricardo Nuno Francisco do Carmo, evaluador



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

España
Junio 2015

Colección Tesis Doctorales

© Jaime Mata Falcón

© 2015, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València
Telf.: 963 877 012 / www.lalibreria.upv.es

ISBN: 978-84-9048-436-4 (versión impresa)

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

Jaime Mata Falcón

jaimafal@gmail.com

RESUMEN

Los apoyos a media madera (AMM), también conocidos como *dapped-end beams*, *Gerber joints* o *half joints*, son un tipo de apoyos muy comunes en la práctica constructiva actual del hormigón armado y pretensado, sobre todo en el ámbito de la prefabricación. Se emplean por su facilidad de ensamblaje y porque permiten mantener constante el canto del forjado o tablero en el que se ejecute.

Los AMM se consideran regiones de discontinuidad (D). Los métodos de cálculo más extendidos en las regiones D son el método de bielas y tirantes y el método de los campos de tensiones. Ambos procedimientos están limitados al diseño de regiones D en rotura. El comportamiento en condiciones de servicio en estos elementos no está suficientemente explorado. Este aspecto resulta de especial relevancia en los AMM, ya que en condiciones de servicio se genera una fisura en la esquina para solicitaciones relativamente bajas. Estas fisuras pueden ser una posible fuente de corrosión de las armaduras comprometiendo la durabilidad del apoyo. La información relativa a la fisuración en servicio de AMM en estudios experimentales previos es reducida, lo cual dificulta el contraste de metodologías para el cálculo de la abertura en AMM.

Esta tesis describe un programa experimental con registro continuo de la abertura de fisura mediante técnica fotogramétrica que comprende un total de 60 ensayos de AMM correspondientes a un total de 30 configuraciones. Se estudia la influencia en el comportamiento de los AMM de las siguientes variables: cuantía de armadura, disposición de armado y variantes constructivas como son el biselado de la esquina, el pretensado de la armadura horizontal, el empleo de hormigón reforzado con fibras de acero y la disposición de armaduras secundarias sobre el apoyo.

Se presenta un procedimiento simplificado para determinar la geometría de modelos de bielas y tirantes para AMM. Se comparan los resultados de carga máxima de estos modelos con los resultados de los ensayos propios y de otros 29 ensayos de otros autores. Se muestran además modelos de bielas y tirantes ajustados a los resultados experimentales para las principales configuraciones ensayadas.

Se aplican además modelos de campos de tensiones elasto-plásticos a los ensayos de AMM de la campaña experimental, a otros 44 ensayos de AMM de otros autores, así como a 9 ensayos de vigas sin armadura transversal ejecutadas con hormigón reforzado con fibras de acero. Se han desarrollado en el modelo nuevas hipótesis constitutivas para captar fenómenos de *spalling* y el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero.

Se desarrollan dos modelos para el cálculo de la abertura de fisura en servicio: un modelo racional en el cual la abertura se calcula mediante la integración de las deformaciones de las armaduras en el entorno de la fisura, y un modelo empírico en el que se hace intervenir la carga actuante en relación a la carga última del AMM. El modelo racional se aplica a partir de resultados de deformaciones de campos de tensiones elasto-plásticos y a partir de un procedimiento desarrollado para el cálculo simplificado de las deformaciones a partir de modelos de bielas y tirantes. El modelo racional y el empírico se comparan entre sí y con otras dos metodologías previas mediante los resultados de la campaña experimental realizada y los ensayos de otros 4 autores.

RESÚM

Els suports a mitja fusta (AMM), també coneguts en anglès com a *dapped-end beams*, *Gerber joints* o *half joints*, són un tipus de suports molt habituals en la pràctica constructiva actual del formigó armat i pretensat, especialment a l'àmbit de la prefabricació. Aquests suports es fan servir per la seua facilitat d'assemblatge, i perquè permeten mantindre constant el cantell de la estructura.

Els AMM son considerats zones de discontinuïtat (D). Els mètodes de càlcul més estesos en les zones D son el mètode de bieles i tirants i el mètode dels camps de tensions. Les dues metodologies estan limitades al disseny de zones D en ruptura. El comportament en condicions de servei en aquests elements no esta suficientment explorat. Aquest aspecte és d'especial importància als AMM, ja que en condicions de servei es produeix una fissura al cantó per a sol·licitacions relativament baixes. Aquestes fissures poden ser una possible font de corrosió de les armadures, compromentent la durabilitat del suport. La informació relativa a la fissuració en servei de AMM en estudis experimentals previs es reduïda, dificultant el contrast de metodologies per a el càlcul de l'obertura en AMM.

Aquesta tesi descriu un programa experimental amb registre continu de l'obertura de fissura mitjançant tècnica fotogramètrica que compren un total de 60 assajos de AMM, corresponent a un total de 30 configuracions. S'estudia l'influència en el comportament del AMM de les següents variables: quantia d'armadura, disposició de armat i variants constructives com el bisellat del cantó, el pretensat de l'armadura horitzontal, la utilització del formigó reforçat amb fibres d'acer i la disposició de armadures secundaries sobre el suport.

Es presenta un procediment simplificat per a determinar la geometria de models de bieles i tirants adaptats als AMM. Es comparen els resultats de càrrega màxima d'aquests models amb els resultats dels assajos propis y de altres 29 assajos corresponent a altres autors. Es mostres, a més, models de bieles i tirants ajustats als resultats experimentals per a les principals configuracions assajades.

S'apliquen, a més, models de camps de tensions elasto-plàstics als assajos de AMM de la campanya experimental, a altres 44 assajos de AMM d'altres autors, així com a 9 assajos de bigues sense armadura transversal executades amb formigó reforçat amb fibres d'acer. S'han desenvolupat noves hipòtesis constitutives al model per a captar fenòmens de *spalling* i el comportament del formigó reforçat amb fibres metàl·liques.

Es desenvolupen dos models per al càlcul de l'obertura de fissura en servei: un model racional al qual l'obertura es calcula mitjançant la integració de les deformacions de les armadures al voltant de la fissura, i un model empíric al qual es fa intervenir la càrrega existent en relació a la càrrega última del AMM. El model racional s'aplica a partir de resultats de deformacions de camps de tensions elasto-plàstics i a partir d'un procediment desenvolupat per al càlcul simplificat de les deformacions a partir de models de bieles i tirants. Es comparen entre sí, el model racional i el model empíric, i a més amb altres dos metodologies prèvies mitjançant els resultats de la campanya experimental realitzada i assajos de altres 4 autors.

ABSTRACT

Dapped-end beams (DEB), also known as Gerber joints or half joints, are frequently used at supports in reinforced and prestressed concrete structures, particularly in precast concrete manufacturing. DEB is a popular detail for expansion joints. Their shape facilitates the connection of precast structural elements and allows for reducing the structure's height.

DEBs are considered as discontinuity regions (D). Strut-and-tie models and stress field models are widely used for the design of D-regions. However, these approaches are limited to the ultimate limit state design and serviceability requirements for D-regions usually remain unexplored. This lack of knowledge is especially important for DEBs since a crack in the re-entrant corner of DEBs appears for low loads. Such cracks become a potential issue of corrosion in reinforcing bars. Existing experimental information of cracking under serviceability conditions is scarce. Hence, it is difficult to verify crack width calculation methodologies.

This thesis describes a set of 60 tests on dapped-ends, corresponding to 30 different configurations. Digital image correlation was used for continuous measurement of crack widths. The main parameters studied in this research were: the amount and layout of reinforcement, and some constructive variations (the disposition of a bevel in the re-entrant corner, the use of unbonded post-tensioned rebars for the horizontal tie, the use of steel fibre reinforced concrete and the disposition of secondary reinforcement over the support).

A simplified procedure is proposed for defining the geometry of strut-and-tie models for DEBs. The strengths of these strut-and-tie models are compared with the experimental results of the tests carried out in this study and other 29 tests found in the literature. For the main tested configurations adapted strut-and-tie models based on the experimental results are also presented.

The applicability of elasto-plastic stress field models for the analysis of DEBs is also investigated. Existing concrete constitutive laws have been adjusted to consider spalling failures and steel fibre reinforced concrete behaviour. This approach is used to analyse the tests of this study, 44 DEBs tests from the literature and 9 steel fibre reinforced concrete beams from the literature without transversal reinforcement failing in shear.

Two different models for the calculation of crack widths in the re-entrant corner under service loads are proposed: a rational and an empirical model. The rational model uses the integration of reinforcement strains near the crack to calculate the crack width. In this study reinforcement strains have been obtained by using elasto-plastic stress fields and a proposed simplified procedure based on strut-and-tie models. In the empirical model the crack width depends on the ratio between the applied load and the ultimate load of the DEB. Predictions of the empirical model, the rational model and two other models of the literature are compared. This comparison is carried out for the experimental data of this and other 4 studies from the literature.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer primeramente la inversión pública que ha hecho posible esta investigación. Concretamente agradezco al Ministerio de Ciencia e Innovación de España por la financiación del proyecto BIA2009-11369 del que forma parte la presente investigación y por la ayuda predoctoral de Formación de Personal Investigador. Las estancias que he tenido la oportunidad de realizar en Lausana han sido posibles gracias a las ayudas concedidas por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

Agradecer a mis directores Pedro Miguel Sosa y Luis Pallarés Rubio por haber confiado en mí para llevar a cabo este proyecto y haber posibilitado que aprendiera tantas cosas en este periodo.

El programa experimental se ha desarrollado en el Laboratorio de Hormigón del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) de la Universitat Politècnica de València. Agradezco el apoyo institucional de la UPV, así como el de todo el personal técnico y administrativo tanto de ICITECH como del Departamento de Ingeniería de la Construcción. Me gustaría remarcar el trabajo de Lino José Martínez Todolí en el desarrollo del programa experimental. Quiero, asimismo, agradecer a Pedro Serna Ros su ayuda en lo referente a la fabricación del hormigón con fibras.

Parte de esta tesis ha sido desarrollada en colaboración con Aurelio Muttoni y Miguel Fernández Ruiz en el laboratorio IBETON de la Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Quiero agradecerles a ambos el gran apoyo brindado, habiendo permitido que esta experiencia haya sido enriquecedora tanto en lo profesional como en lo personal. Agradecer su apoyo a todo el equipo de IBETON y a los compañeros del EESD Lab, con especial mención a Yvonne por su eficiencia y amabilidad. Quiero destacar también el interés y las aportaciones de Dario Redaelli de la Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg. Le agradezco a Juan Navarro Gregori el hecho de que me pusiera en contacto con el equipo de IBETON.

Durante estos años en la universidad he tenido muy buenos compañeros, tanto en la etapa del máster como en la del doctorado. A todos ellos les agradezco su apoyo. Como son muchos me gustaría nombrar simplemente a aquellos que me han ayudado directamente en este proyecto: Moisés, Carlos, Cristina, José, Michael y Filip. Gracias a ellos y a toda la gente que, de una u otra forma, ha contribuido a que desarrollara y finalizara este trabajo.

Jaime Mata Falcón
Valencia, junio 2015

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	i
Resúm	ii
Abstract	iii
Agradecimientos	iv
Tabla de contenido	v
Lista de figuras	xii
Lista de fotografías	xix
Lista de tablas	xxi
Capítulo I Introducción	1
I.1 Problemática y motivación del estudio.....	1
I.2 Objetivos y relevancia de la investigación	4
I.3 Contenidos de la tesis.....	6
Capítulo II Estado del conocimiento	9
II.1 Introducción teórica a los métodos de diseño de apoyos a media madera.....	9
II.1.1 Método de bielas y tirantes	9
II.1.2 Campos de tensiones	16
II.1.3 Distribuciones de tensiones basadas en elementos finitos.....	18
II.1.4 Shear friction and diagonal bending methods.....	19
II.2 Análisis de los ensayos experimentales existentes en la literatura.....	20
II.2.1 Primeras investigaciones (hasta 1987).....	23
II.2.2 Validación del Método de las Bielas y Tirantes (1987-1999)	27
II.2.3 Investigaciones recientes (desde 2000)	30
II.3 Modelos para la estimación de la abertura de fisura.....	35
II.3.1 Modelo de Clark y Thorogood.....	35
II.3.2 Compatibility-aided strut-and-tie model (CASTM).....	38
II.4 Breve análisis del tratamiento normativo de los AMM	40
II.4.1 EHE-08	41
II.4.2 Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1:2004).....	41

II.4.3 ACI 318-08.....	42
II.4.4 CSA A23.3-04.....	42
II.4.5 SIA 262:2013.....	42
II.4.6 Código Modelo 2010.....	42
II.4.7 PCI Desing Handbook 7th edition.....	42
Capítulo III Programa experimental.....	45
III.1 Detalles de especímenes y plan de trabajo.....	45
III.1.1 Parámetros de estudio.....	45
III.1.2 Codificación de especímenes.....	49
III.1.3 Diseño y descripción de las piezas.....	49
III.1.4 Plan de trabajo.....	54
III.2 Cargas de diseño estimadas.....	56
III.3 Propiedades de los materiales.....	58
III.3.1 Hormigón.....	58
III.3.2 Acero.....	60
III.4 Configuración de ensayo.....	61
III.5 Instrumentación.....	62
III.6 Fabricación y protocolo de ensayo.....	66
Capítulo IV Resultados experimentales.....	71
IV.1 Descripción de las fichas de ensayos.....	71
IV.1.1 Organización.....	71
IV.1.2 Procesado de resultados.....	74
IV.2 Síntesis de resultados.....	74
IV.3 Descripción de la fisuración en servicio.....	78
IV.4 Descripción del comportamiento en rotura.....	80
IV.4.1 Descripción cualitativa.....	81
IV.4.2 Modos de fallo.....	82
IV.5 Discusión de resultados.....	84
IV.5.1 Aberturas de fisura en servicio.....	84
IV.5.2 Evolución de mecanismos resistentes.....	96
IV.5.3 Carga última.....	100

Capítulo V Modelos de bielas y tirantes.....	105
V.1 Construcción de modelos de bielas y tirantes a partir de los resultados experimentales	105
V.1.1 Configuración ortogonal O.1 ($\alpha=1.00$ / $\beta=1.00$)	106
V.1.2 Configuración ortogonal O.2 ($\alpha=0.60$ / $\beta=1.00$)	108
V.1.3 Configuración ortogonal O.3 ($\alpha=1.00$ / $\beta=0.40$)	109
V.1.4 Configuración diagonal D.1 ($\alpha=\beta=0.58$ / $\gamma=0.43$).....	110
V.2 Propuesta de modelos simplificados para cálculo en rotura.....	111
V.2.1 Modelo con armadura ortogonal.....	113
V.2.2 Modelo con armadura diagonal	116
V.2.3 Modelo con carga inclinada	118
V.2.4 Ámbito de aplicación	119
V.3 Determinación de resistencia de la biela y contraste de los modelos simplificados propuestos para el cálculo en rotura	120
Capítulo VI Modelos de campos de tensiones elasto-plásticos (EPSF).....	125
VI.1 Bases teóricas.....	126
VI.2 Extensión de los límites de aplicación de los campos de tensiones elasto-plásticos	128
VI.2.1 Fenómenos de spalling	128
VI.2.2 Hormigón reforzado con fibras de acero	132
VI.3 Aplicación a apoyos a media madera.....	137
VI.3.1 Campaña experimental realizada.....	138
VI.3.2 Ensayos de otros autores.....	140
Capítulo VII Métodos para la determinación de la abertura de fisura	145
VII.1 Introducción.....	145
VII.2 Modelo racional	147
VII.2.1 Formulación general del modelo	148
VII.2.2 Desplazamientos de la fisura en dirección de las armaduras (w_b)	150
VII.2.3 Longitud de anclaje y longitud de separación entre fisuras	152
VII.2.4 Determinación de deformaciones en armaduras	154
VII.2.5 Inclinación de la fisura	157
VII.2.6 Reducción por biselado de la esquina (k_b)	157
VII.2.7 Contribución del hormigón (k_c)	158

VII.2.8 Parámetros del modelo	160
VII.2.9 Síntesis.....	167
VII.3 Modelo empírico	168
VII.3.1 Descripción.....	168
VII.3.2 Calibración.....	170
VII.4 Comparación de modelos propuestos y modelos de otros autores con datos propios y banco de datos de la bibliografía	172
VII.4.1 Modelo racional	172
VII.4.2 Modelo empírico	174
VII.4.3 Modelo CASTM	175
VII.4.4 Modelo Clark y Thorolgood.....	177
VII.5 Propuesta de sobredimensionamiento de la armadura calculada en ELU para la verificación del ELS fisuración.....	179
Capítulo VIII Synthesis, conclusions and future work	183
VIII.1 Summary	183
VIII.2 Conclusions	184
VIII.3 Future work.....	188
Bibliografía	191
Anejo A Protocolo de ensayo	197
Anejo B Ensayos de caracterización de las barras de acero corrugado	205
Anejo C Ensayos de control del hormigón	209
C.1 Compresión simple.....	209
C.2 Tracción indirecta	211
C.3 Flexotracción	213
Anejo D Contribución del hormigón en el mecanismo de abertura de fisura.....	215
D.1 Modelo de cálculo basado en la mecánica de la fractura	215
D.2 Estimación a partir de la carga de fisuración	217
Anejo E Cálculo de la carga de fisuración	219
E.1 Formulación propuesta	219
E.2 Ajuste y bondad de la formulación propuesta	220

Anejo F Medición fotogramétrica	223
F.1 Introducción	223
F.2 Precisión de la técnica de medición.....	225
F.2.1 Resolución.....	225
F.2.2 Error global del procedimiento.....	227
F.3 Cálculo del error global del procedimiento.....	231
F.3.1 Procedimientos de reproyección	231
F.3.2 Propuesta experimental para la determinación del error global del procedimiento	232
Anejo G Descripción de postproceso de resultados	233
G.1 Puntos representativos de las gráficas	233
G.1.1 Inicio de fisuración	233
G.1.2 Punto de cambio de rigidez.....	234
G.2 Deformaciones.....	234
G.3 Flecha	234
G.4 Abertura de fisura.....	236
G.5 Tensiones	236
G.6 Tracciones	237
Anejo H Fichas de ensayos.....	239
H.1 DEB-1.1 (T1).....	240
H.2 DEB-1.1 (T2).....	248
H.3 DEB-1.2 (T1).....	256
H.4 DEB-1.2 (T2).....	264
H.5 DEB-1.3 (T1).....	272
H.6 DEB-1.3 (T2).....	280
H.7 DEB-1.4 (T1).....	288
H.8 DEB-1.4 (T2).....	296
H.9 DEB-1.5 (T1).....	304
H.10 DEB-1.5 (T2).....	312
H.11 DEB-1.6 (T1).....	320
H.12 DEB-1.6 (T2).....	328

H.13 DEB-1.7 (T1)	336
H.14 DEB-1.7 (T2)	344
H.15 DEB-1.8 (T1)	352
H.16 DEB-1.8 (T2)	360
H.17 DEB-1.9 (T1)	368
H.18 DEB-1.9 (T2)	376
H.19 DEB-2.1 (T1)	384
H.20 DEB-2.1 (T2)	392
H.21 DEB-2.2 (T1)	400
H.22 DEB-2.2 (T2)	408
H.23 DEB-2.3 (T1)	416
H.24 DEB-2.3 (T2)	424
H.25 DEB-2.4 (T1)	432
H.26 DEB-2.4 (T2)	440
H.27 DEB-2.5 (T1)	448
H.28 DEB-2.5 (T2)	456
H.29 DEB-2.6 (T1)	464
H.30 DEB-2.6 (T2)	472
H.31 DEB-3.1 (T1)	480
H.32 DEB-3.1 (T2)	488
H.33 DEB-3.2 (T1)	496
H.34 DEB-3.2 (T2)	504
H.35 DEB-3.3 (T1)	512
H.36 DEB-3.3 (T2)	520
H.37 DEB-3.4 (T1)	528
H.38 DEB-3.4 (T2)	536
H.39 DEB-3.5 (T1)	544
H.40 DEB-3.5 (T2)	552
H.41 DEB-3.6 (T1)	560
H.42 DEB-3.6 (T2)	568

H.43 DEB-3.7 (T1).....	576
H.44 DEB-3.7 (T2).....	584
H.45 DEB-3.8 (T1).....	592
H.46 DEB-3.8 (T2).....	600
H.47 DEB-3.9 (T1).....	608
H.48 DEB-3.9 (T2).....	616
H.49 DEB-3.10 (T1).....	624
H.50 DEB-3.10 (T2).....	632
H.51 DEB-3.11 (T1).....	640
H.52 DEB-3.11 (T2).....	648
H.53 DEB-3.12 (T1).....	656
H.54 DEB-3.12 (T2).....	664
H.55 DEB-4.1 (T1).....	672
H.56 DEB-4.1 (T2).....	680
H.57 DEB-4.2 (T1).....	688
H.58 DEB-4.2 (T2).....	696
H.59 DEB-4.3 (T1).....	704
H.60 DEB-4.3 (T2).....	712

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1: Ejemplos de uso de Apoyos a Media Madera (AMM)	2
Figura II.1: Modelo de celosía de Ritter.....	10
Figura II.2: Geometría de la región D de un AMM y sistema de fuerzas puntuales equivalentes.....	10
Figura II.3: Modelos de bielas y tirantes: (a) Ortogonal; (b) Inclinado; (c) Mixto	11
Figura II.4: Definición de geometría zona nodal CCT, extraída de EC-2 [12].....	14
Figura II.5: Simplificación de la distribución de tensiones de anclaje de armadura en nudo CCT extraída de Miguel et al. [10].....	15
Figura II.6: Idealización rígido perfectamente plástica de los materiales, extraído de Muttoni y Fernández Ruiz [24].....	16
Figura II.7: Ejemplo de campo de tensiones y detalle de líneas de discontinuidad, extraído de Muttoni y Fernández Ruiz [24]	17
Figura II.8: Esquema de fuerzas en el shear friction method, extraído de Herzinger [32].....	19
Figura II.9: Esquema de fuerzas en el diagonal bending method, extraído de Herzinger [32]	19
Figura II.10: Codificación de geometría de las piezas.....	21
Figura II.11: Síntesis gráfica de ensayos de AMM encontrados en la bibliografía según características y disponibilidad de resultados de aberturas de fisura.....	21
Figura II.12: Ensayos de Reynolds [34]: (a) Dimensiones del apoyo y detalles del armado; (b) Esquema de cálculo en rotura presuponiendo fisura a 45°; (c) Esquema de cálculo en rotura con fisura hacia parte superior del estribo vertical	23
Figura II.13: AMM ensayados por Werner y Dilger [35]: (a) Armado de piezas con armadura pasiva ortogonal; (b) Armado de piezas con armadura pasiva inclinada; (c) Detalle del anclaje de la armadura activa.....	24
Figura II.14: Detalle de geometría y pretensado de los apoyos ensayados por Hamoudi et al. [36].....	25
Figura II.15: Detalle de tirante inclinado ensayado por Menon y Furlong [37].....	25
Figura II.16: Esquema de los ensayos realizados por Chan, Khan y Chung entre 1979 y 1985 [17], [38], [40]	25
Figura II.17: Armado tipo de AMM empleado en la formulación de Mattock y Chan [18].....	26
Figura II.18: Geometría y armado de los apoyos ensayados por Liem [39]	26
Figura II.19: AMM ensayados por Mattock y Theryo [42]: (a) Esquema de ensayo; (b) Geometría y armaduras activas	27
Figura II.20: Esquemas de bielas y tirantes propuestos por Cook y Mitchel [44]	27
Figura II.21: Armado y esquema de bielas y tirantes propuesto por So [49] para vigas en T pretensadas con transición gradual del canto	28

Figura II.22: Esquema de bielas y tirantes propuesto por Mader [50] para vigas pretensadas con armado inclinado.....	29
Figura II.23: Detalle del armado de los AMM ensayados por Kumaraguru [33].....	29
Figura II.24: Modelo de bielas y tirantes propuesto por Lu, Lin et al. [51], [52].....	30
Figura II.25: Geometría y armado de la pieza T6 ensayada por Zhu et al. [53].....	30
Figura II.26: Esquemas de armado de AMM ensayados por Taher [54].....	31
Figura II.27: AMM ensayados por Huang y Nanni [56]: (a) Geometría y detalle de armadura pasiva; (b) Esquema de refuerzo con CFRP's	32
Figura II.28: Esquemas de ensayo de AMM de Herzinger [4], [32].....	33
Figura II.29: Estudio de Nagrodzca-Godycka et al. [58]: (a) Esquema de ensayo; (b) Sistema de fuerzas internas para el cálculo de la carga última	34
Figura II.30: Patrones de fisuración propuestos por Clark y Thorogood [46]: (a) Concentrada; (b) Distribuida.....	35
Figura II.31: Representación de deformaciones para el modelo elástico propuesto por Clark y Thorogood [46].....	36
Figura II.32: Ajuste experimental para la longitud L_{HV} asociada al cálculo de la abertura de fisura extraído de Zhu et al. [53]	38
Figura II.33: Determinación de área de tirantes de hormigón (extraído de Zhu et al. [53])	39
Figura II.34: Descomposición de esquemas resistentes propuesto por Zhu et al. [53] en caso de armado mixto	39
Figura II.35: Esquemas de bielas y tirantes propuestos en la EHE-08 [2] y tomados del EC-2 [71]	41
Figura II.36: Mecanismos de rotura y geometría especificada en PCI Design Handbook [64].....	43
Figura III.1: Geometría, dimensiones y esquema de carga del ensayo	46
Figura III.2: Codificación de armaduras	46
Figura III.3: Modelización elástica-lineal del nivel bajo del pretensado: diagrama de compresiones superiores a 4.5 MPa.....	48
Figura III.4: Modelo de bielas y tirantes considerado para el diseño del esquema de armado ortogonal de referencia (O.1).....	52
Figura III.5: Modelo de bielas y tirantes considerado para el esquema resistente diagonal	53
Figura III.6: Modelo de bielas y tirantes ortogonal 2 (O.2)	56
Figura III.7: Modelo de bielas y tirantes ortogonal 3 (O.3)	57
Figura III.8: Puesta en obra de las piezas con HRFA: (a) Hormigonado del apoyo con HRFA; (b) Hormigonado con hormigón convencional y vibrado para conexión de hormigones.....	58
Figura III.9: Esquema de disposición de transductores de desplazamiento. Ensayo DEB-2.5 (T1).....	63

Figura III.10: Esquema de ubicación de bandas extensométricas de acero. Ensayo DEB-1.6 (T1).....	63
Figura III.11: Esquema de ubicación de bandas extensométricas de hormigón	64
Figura III.12: Determinación de la abertura de fisura a partir del campo de desplazamientos	65
Figura III.13: Comparativa de resultados de bandas extensométricas y medición fotogramétrica	65
Figura III.14: Comparativa de técnicas de medición de abertura de fisura: ensayo DEB-2.3 (T1)	66
Figura IV.1: Ejemplo de numeración de fichas de ensayos.....	72
Figura IV.2: Ejemplo de gráfica carga-deformación. Ensayo DEB-1.7 (T2)	72
Figura IV.3: Ejemplo de gráfica deformación-abertura de fisura. Ensayo DEB-1.7 (T2)	73
Figura IV.4: Ejemplo de esquema de tensiones y tracciones. Ensayo DEB-2.2 (T2).....	74
Figura IV.5: Curvas auxiliares carga-desplazamiento bajo actuador para la detección del fallo por spalling.....	82
Figura IV.6: Influencia de abertura de fisura con la distancia al borde de la pieza: (a) Representación DEB-1.6 (T1); (b) Ratio entre abertura de fisura a la altura de la armadura y abertura máxima	85
Figura IV.7: Dispersión de aberturas de fisura en ensayos con replicación	86
Figura IV.8: Influencia de la cuantía de armadura en la abertura de fisura: (a) referida a la carga en el apoyo; (b) referida al nivel de carga relativo a la carga máxima.....	87
Figura IV.9: Influencia de la configuración de armado ortogonal en la abertura de fisura: O.1 vs O.2.....	88
Figura IV.10: Influencia de la configuración de armado ortogonal en la abertura de fisura: O.1 vs O.3	89
Figura IV.11: Influencia de la presencia de armadura diagonal en la abertura de fisura: O.1 vs D.1	90
Figura IV.12: Influencia de la importancia de la armadura diagonal en la abertura de fisura: D.1 vs D.2 vs D.3	91
Figura IV.13: Influencia del biselado del vértice en la abertura de fisura	92
Figura IV.14: Posición de fisuras en piezas p71/O.1 (DEB-1.8, DEB-3.6)	93
Figura IV.15: Influencia del pretensado de la armadura horizontal en la abertura de fisura.....	94
Figura IV.16: Influencia del empleo de HRFA en la abertura de fisura: (a) Comparativa con cargas absolutas; (b) Comparativas con cargas relativas a la carga máxima.....	94
Figura IV.17: Esquemas tracciones y tensiones (en color) en rotura: (a) DEB-1.6 (T2) V=250.9 kN; (b) DEB-1.7 (T2) V=188.8 kN.....	96
Figura IV.18: Esquemas tracciones y tensiones (en color) en rotura: DEB-1.3 (T1) V=121.1 kN	98
Figura IV.19: Esquemas tracciones y tensiones al 75%·Vu: (a) DEB-2.2 (T1) V=241.4 kN; (b) DEB- 2.5 (T2) 221.2 kN	98
Figura IV.20: Dispersión de cargas últimas en ensayos con replicación.....	100

Figura V.1: Modelo de bielas y tirantes en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-1.6 (T2)	106
Figura V.2: Mecanismos resistentes para el anclaje de la armadura horizontal	107
Figura V.3: Modelo de bielas y tirantes en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-1.7 (T2)	108
Figura V.4: Modelo de bielas y tirantes aproximado en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-1.3 (T1).....	109
Figura V.5: Mecanismos resistentes para la configuración O.3	110
Figura V.6: Modelo de bielas y tirantes en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-2.2 (T1)	111
Figura V.7: Descomposición entre mecanismo resistente ortogonal y diagonal	111
Figura V.8: Modelo considerado para la zona nodal CCT generada sobre A_{sV}	112
Figura V.9: Modelo considerado para la zona nodal CCT generada sobre A_{sV} (caso con biela de anclaje de A_{sH})	112
Figura V.10: Modelos de bielas y tirantes ortogonales propuestos para el cálculo simplificado en rotura	114
Figura V.11: Criterio para la inclusión de armaduras verticales en el modelo.....	115
Figura V.12: Modelos de bielas y tirantes con armadura diagonal propuestos para el cálculo simplificado en rotura.....	116
Figura V.13: Descomposición de biela de entrada al nudo 2	117
Figura V.14: Modelos de bielas y tirantes con carga inclinada propuestos para el cálculo simplificado en rotura.....	118
Figura V.15: Síntesis de resultados para carga última del modelo de bielas y tirantes simplificado	123
Figura VI.1: Leyes constitutivas de los materiales en los modelo EPSF: (a) acero; (b) hormigón	127
Figura VI.2: Modelo de EPSF para la configuración DEB-1.6 sin resistencia a tracción en el recubrimiento: tensiones relativas a la carga máxima (negro denota que se ha alcanzado la plastificación del hormigón).....	128
Figura VI.3: Ejemplo de elementos barra de spalling para la modelización del recubrimiento.....	129
Figura VI.4: Leyes constitutivas analizadas para la resistencia a tracción de los elementos para modelización del spalling	130
Figura VI.5: Resultados de diferentes modelos de spalling para ensayos seleccionados de AMM	131
Figura VI.6: Valle de Kani, extraído de Campana [82]	133
Figura VI.7: Ley constitutiva del hormigón propuesta con comportamiento elasto-perfectamente plástico en tracción	134
Figura VI.8: Análisis de la influencia de f_{ctp} en los modelos de EPSF. Configuración H500	134

Figura VI.9: Ley plástica constitutiva propuesta por MC-2010 [13]	135
Figura VI.10: Resultados de EPSF con tracción residual sin deformación máxima	135
Figura VI.11: Ley constitutiva del hormigón propuesta con comportamiento elasto-plástico en tracción.....	136
Figura VI.12: (a)-(c) Resultados de EPSF con distintos valores de l_{cs} ; (d) Resultados de formulación empírica propuesta en el MC-2010 [13], extraídos de Minelli et al. [81].....	137
Figura VI.13: Resultados de EPSF para los AMM de la campaña experimental desarrollada	138
Figura VI.14: Reparto de carga entre mecanismos resistentes de EPSF en función del nivel de carga: configuración DEB-2.3	139
Figura VI.15: Modelo de EPSF para la configuración DEB-2.5: tensiones relativas a la carga máxima (negro denota que se plastificación del hormigón, rojo oscuro denota plastificación de las armaduras).....	140
Figura VI.16: Comparativa de resultados de deformaciones en armaduras principales de EPSF respecto a las experimentales para la configuración DEB-2.2: (a) Armadura horizontal A_{sH} ; (b) Armadura vertical A_{sV} ; (c) Armadura diagonal A_{sV}	140
Figura VI.17: Síntesis gráfica de características de los ensayos de AMM empleados para la validación de los EPSF	141
Figura VI.18: Síntesis de resultados de EPSF para carga última.....	142
Figura VII.1: Cinemática de fisura propuesta	148
Figura VII.2: Cinemática de fisura propuesta ($\delta=0$)	149
Figura VII.3: Clasificación de los extremos de las armaduras en función de la fisuración adyacente	150
Figura VII.4: Anclaje de armaduras y aparición de fisuras adyacentes	151
Figura VII.5: Definición de tirantes efectivos de hormigón y recubrimientos de armaduras	153
Figura VII.6: Modelo propuesto para cálculo en servicio de deformaciones con limitación de redistribución.....	155
Figura VII.7: (a) Ley de softening en la fisura propuesta por MC-2010 [13]; (b) Esquema simplificado tracciones en el hormigón	158
Figura VII.8: Síntesis de resultados de aberturas de fisura obtenidas mediante EPSF: series DEB-1.# y DEB-2.# (exceptuando config. DEB-1.3).....	161
Figura VII.9: Comparativa detallada de aberturas de fisura experimentales y calculadas mediante EPSF: (a) DEB-1.8; (b) DEB-2.2.....	162
Figura VII.10: Comparativa entre aberturas de fisura experimentales y calculadas. Modelo racional considerando hormigón en tracción y fisuración cercana: (a) Hipótesis (VII.24) para θ_c ; (b) Hipótesis $\delta=0$	164

Figura VII.11: Comparativa entre aberturas de fisura experimentales y calculadas. Modelo racional con hipótesis $\delta=0$, considerando fisuración cercana y despreciando la contribución en tracción del hormigón ($k_c=1$)	166
Figura VII.12: Comparativa entre aberturas de fisura experimentales y calculadas. Modelo racional con hipótesis $\delta=0$, considerando la contribución del hormigón en tracción y despreciando el efecto de la fisuración cercana	166
Figura VII.13: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo empírico: series DEB-1.#, DEB-2.# y DEB-3.#.....	171
Figura VII.14: Modelo racional $\delta=0$: (a) Datos del estudio actual; (b) Datos de otros autores (Ajina [41], Clark & Thorogood [45], [46], Zhu et al. [53], Herzinger [4], [32]).....	173
Figura VII.15: Modelo empírico: (a) Datos del estudio actual; (b) Datos de otros autores (Ajina [41], Clark & Thorogood [45], [46], Zhu et al. [53], Herzinger [4], [32]).....	174
Figura VII.16: Resultados de aberturas de fisura. Modelo CASTM [53]: (a) Resultados del estudio actual; (b) Resultados de Zhu et al. [53] y Ajina [41].....	176
Figura VII.17: Resultados de aberturas de fisura. Modelo Clark y Thorogood [45], [46]: (a) Ensayos del presente estudio; (b) Ensayos de otros autores (Ajina [41], Clark & Thorogood [45], [46], Zhu et al. [53], Herzinger [4], [32]).....	178
Figura VII.18: (a) ratio de sobredimensionamiento –influencia de configuración de armado y cociente r_s/γ_s –; (b) ratio de sobredimensionamiento adimensionalizado –influencia de bisel, pretensado y armadura diagonal–	181
Figura VII.19: Tensión de diseño en ELU necesaria para la verificación de ELS fisuración	182
Figura B.1: Ejemplo de cálculo del límite elástico	206
Figura C.1: Resultados de ensayos de flexotracción	214
Figura D.1: (a) Ley de softening en la fisura propuesta por MC-2010 [13]; (b) Esquema simplificado tracciones en el hormigón	216
Figura D.2: Ajuste de coeficiente de contribución del hormigón en función de la carga de fisuración	217
Figura D.3: Síntesis de ajustes del coeficiente de contribución del hormigón.....	218
Figura E.1: Cálculo de carga de fisuración suponiendo distribución lineal de tensiones en la sección de cambio de canto (V'_{cr})	220
Figura E.2: Carga de fisuración calculada vs carga de fisuración experimental	221
Figura F.1: Influencia de la resolución en el error de la técnica fotogramétrica	225
Figura F.2: Ecuación de Gauss para lentes delgadas convergentes	226
Figura F.3: Obtención del ángulo de campo	226
Figura F.4: Seguimiento de patrones	227

Figura F.5: Variación de longitud entre 2 puntos respecto a longitud media (ensayo textura negra, resolución 0.1 mm/px, sin foco halógeno)	228
Figura F.6: Proyectividad	229
Figura F.7: Error por distorsiones	230
Figura F.8: Ejemplo de funciones de distorsión mediante Complete Camera Calibration Toolbox for Matlab: (a) Distorsión radial; (b) Distorsión tangencial	231
Figura F.9: Calibración del modelo de cámara. Método de Zhang [76]	232
Figura G.1: Determinación de punto de cambio de rigidez. Armadura horizontal. DEB-2.2 (T1)	234
Figura G.2: Esquema del movimiento de sólido rígido de la viga por descenso de los apoyos	235
Figura G.3: Flecha y datos de captadores	236
Figura G.4: Diagrama bilineal del acero	237

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía I.1: Apoyos a media madera en paso superior de carretera CV-500 en el Saler, Valencia	1
Fotografía I.2: Ejemplos de AMM con problemas de durabilidad: (a) Concorde overpass durante una inspección especial en 2004, dos años antes de su colapso [3]; (b) paso superior en carretera CV-500 cerca de Valencia (foto propia); (c) AMM en puente peatonal [4]; (d) fisuras en estructura de aparcamiento en Pittsburg, USA [5].....	3
Fotografía I.3: Fallo del paso superior Concorde en Quebec en 2006 [3]: (a) Vista general del colapso; (b) Detalle de los AMM tras la rotura	3
Fotografía II.1: Imagen de la fisuración en el paso superior Concorde tomada durante una inspección 30 minutos antes del colapso de la estructura [3]	20
Fotografía II.2: Ensayo de AMM realizado por Mader [50].....	29
Fotografía II.3: Medida de fisuras. Ensayos de Zhu et al. [53]	30
Fotografía II.4: Vista de ensayos de Huang y Nanni [56]	32
Fotografía III.1: Vista general del ensayo.....	61
Fotografía III.2: Aparato de apoyo deslizante: (a) Placa inferior de PTFE; (b) Placa intermedia de acero inoxidable; (c) Lubricación de superficies; (d) Aparato de apoyo en ensayo.....	62
Fotografía III.3: Proceso de instrumentación de la ferralla.....	67
Fotografía III.4: (a) Preparación de encofrados; (b) Hormigonado.....	67
Fotografía III.5: Montaje de probeta en pórtico de ensayo.....	68
Fotografía III.6: Proceso de pegado de galgas en la superficie de hormigón: (a) Mezclado de adhesivo bicomponente; (b) Colocación de pegamento sobre galga; (c) Pegado	68
Fotografía III.7: (a) Transductores de desplazamiento sobre la probeta; (b) Disposición de punteras en extremos de cables de galgas extensométricas	68
Fotografía III.8: (a) Moteado de la región de medición fotogramétrica; (b) Colocación del equipo fotogramétrico	69
Fotografía III.9: Detalle del ensayo DEB-1.9 (T2) en rotura.....	69
Fotografía IV.1: Mapa de fisuración para carga pico o fase post-pico (remarcada en azul la fisuración en servicio)	80
Fotografía IV.2: Rotura de pieza. DEB-1.6 (T1): (a) Instante previo a rotura; (b) Instante posterior a rotura	81
Fotografía B.1: Ensayo de tracción de acero: (a) Proceso de ensayo; (b) Barras tras la rotura. Serie 2.....	205
Fotografía C.1: Ensayo de compresión simple del hormigón: (a) Vista general de ensayo; (b) Detalle de probeta tras rotura	210

Fotografía C.2: Ensayo de tracción indirecta del hormigón: (a) Vista general de ensayo; (b) Detalle de probeta tras rotura.....	212
Fotografía F.1: Distintos patrones de textura superficial	229

LISTA DE TABLAS

Tabla II.1: Valores propuestos de resist. característica de las bielas (f_{1c}) (figuras extraídas de Muttoni y Fernández Ruiz [16])	13
Tabla II.2: Resumen de ensayos experimentales de apoyos a media madera encontrados en la bibliografía	22
Tabla III.1: Cuantía transversal promediada para la configuración ortogonal de referencia (O.1)	47
Tabla III.2: Detalles de armado	50
Tabla III.3: Esquemas gráficos de los especímenes	51
Tabla III.4: Definición de esquemas de armado	54
Tabla III.5: Calendario del programa experimental	55
Tabla III.6: Cargas de diseño estimadas	57
Tabla III.7: Dosificaciones HRFA	59
Tabla III.8: Resistencia del hormigón	59
Tabla III.9: Resultados de ensayos de flexotracción de HRFA	60
Tabla III.10: Características mecánicas de los aceros	60
Tabla IV.1: Resumen de resultados (1/2). Series DEB-1.# y DEB-2.#	76
Tabla IV.2: Resumen de resultados (2/2). Series DEB-3.# y DEB-4.#	77
Tabla IV.3: Modos de fallo de los ensayos	83
Tabla IV.4: Influencia de configuraciones de armado ortogonales en abertura de fisura a 60 kN	89
Tabla IV.5: Influencia de HRFA en la abertura de fisura a 110 kN	95
Tabla IV.6: Carga relativa soportada por el mecanismo resistente diagonal antes de la plastificación	100
Tabla IV.7: Influencia del factor de cuantía de armado en la carga última	101
Tabla IV.8: Influencia del esquema de armado en la carga última	102
Tabla IV.9: Influencia de la armadura secundaria en la carga última	103
Tabla V.1: Síntesis de resultados del modelo simplificado para distintas resistencias de la biela (cociente $V_{u,exp}/V_{u,modelo}$)	121
Tabla V.2: Detalle de resultados del modelo simplificado (resistencia de la biela $0.55 \cdot f_{cp}$)	122
Tabla VI.1: Síntesis de resultados de EPSF agrupados por tipologías de piezas	138
Tabla VI.2: Síntesis de resultados de EPSF para carga última	142
Tabla VII.1: Resultados orientativos de tensiones de armaduras para la presente campaña experimental	146
Tabla VII.2: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo racional considerando hormigón en tracción y fisur. cercana	164

Tabla VII.3: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo racional con hipótesis $\delta=0$ considerando fisuración cercana y despreciando contribución del hormigón en tracción ($k_c=1$).....	165
Tabla VII.4: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo empírico.....	171
Tabla VII.5: Contraste de modelos de aberturas de fisura. Modelo racional	173
Tabla VII.6: Contraste de modelos de aberturas de fisura. Modelo empírico	175
Tabla VII.7: Resultados de aberturas de fisura. Modelo CASTM	176
Tabla VII.8: Resultados de aberturas de fisura. Modelo Clark y Thorolgood	178
Tabla VII.9: Resultados de aberturas de fisura para el estudio actual. Modelo Clark y Thorolgood.....	179
Tabla B.1: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 1	206
Tabla B.2: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 2	207
Tabla B.3: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 3	207
Tabla B.4: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 4	208
Tabla B.5: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 5	208
Tabla C.1: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 1	210
Tabla C.2: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 2	210
Tabla C.3: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 3.....	211
Tabla C.4: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 4	211
Tabla C.5: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 5.....	211
Tabla C.6: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 1.....	212
Tabla C.7: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 2.....	212
Tabla C.8: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 3.....	213
Tabla C.9: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 4.....	213
Tabla C.10: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 5.....	213
Tabla C.11: Resultados de ensayos de flexotracción	213
Tabla D.1: Modelo de aplicación de contribución del hormigón. Aplicación a ensayos de Zhu et al. [53]	216
Tabla F.1: Influencia de variables en el error de detección de seguimiento de patrones	228

Capítulo I Introducción

I.1 Problemática y motivación del estudio

Los apoyos a media madera (AMM), conocidos en inglés como *dapped-end beams*, *Gerber joints* o *half joints* son un tipo de apoyos muy comunes en la práctica constructiva actual del hormigón armado y pretensado, sobre todo en el ámbito de la prefabricación. Aparecen tanto en la construcción de puentes como en estructuras de edificación. En la Fotografía I.1 se muestra un elemento real, mientras que en la Figura I.1 se representan algunos ejemplos del uso de este tipo de apoyos.

Los AMM son elementos comúnmente empleados por su facilidad para ensamblar elementos prefabricados. Asimismo, su forma permite mantener constante el canto del forjado o tablero en el que se ejecute, lo que conduce a una mejor integración en la estructura.

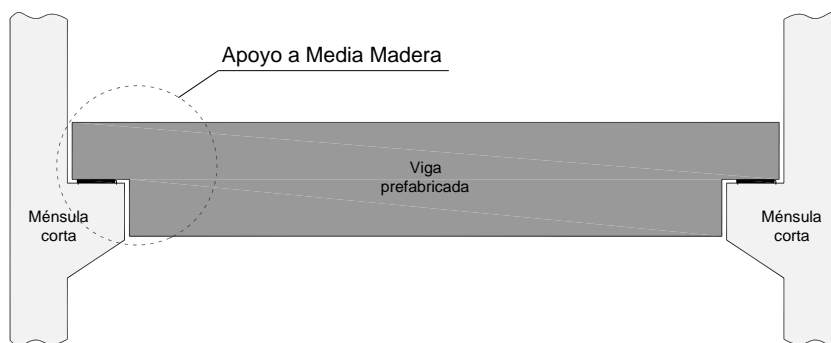


Fotografía I.1: Apoyos a media madera en paso superior de carretera CV-500 en el Saler, Valencia

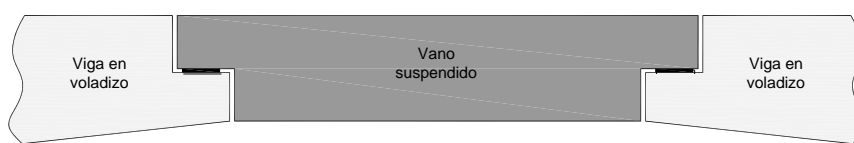
Desde el punto de vista estructural, la existencia tanto de una discontinuidad geométrica, debido al cambio de canto, como de una discontinuidad estática, debida a la aplicación de una carga

concentrada, hace que los AMM se clasifiquen como regiones de discontinuidad (D). En las regiones D, la existencia de una discontinuidad geométrica y/o estática genera una distribución de tensiones internas compleja que invalida la hipótesis de que las secciones planas se mantengan planas después de deformarse. Para el diseño de este tipo de elementos, uno de los procedimientos de cálculo más extendidos es el método de bielas y tirantes (MBT).

- APOYO DE VIGA PREFABRICADA SOBRE PILARES:



- PUENTE CANTILEVER:



- CONEXIÓN DE VIGA O FORJADO SOBRE VIGA EN T INVERTIDA:



Figura I.1: Ejemplos de uso de Apoyos a Media Madera (AMM)

Una de las principales carencias del MBT, según señala el Boletín 45 de la *fib* [1], es que únicamente está planteado para estados de rotura que permiten la aplicación del Teorema del Límite Inferior de la Plasticidad, quedando sin tratar los requerimientos exigibles a cualquier estructura de hormigón en condiciones de servicio, tales como el control de la abertura de fisura o las deformaciones. La limitación destacada del MBT respecto al diseño en servicio, se hace extensiva a otras metodologías basadas en la teoría de la plasticidad como son los campos de tensiones.

Dicha carencia resulta de especial relevancia en el caso de los AMM, ya que en condiciones de servicio se genera una fisura en el vértice para solicitaciones relativamente bajas. Este hecho resulta especialmente importante en este caso, puesto que los AMM suelen ser zonas de concentración de humedad, pudiendo verse comprometida la durabilidad del elemento. Varios autores han reportado problemas de durabilidad en estos elementos, tal y como se muestra en la Fotografía I.2. Como consecuencia, y por tratarse de elementos que suelen presentar patologías, la vigente norma española de hormigón estructural EHE-08 [2] en su artículo 64.2 desaconseja su uso siempre que sea posible.



Fotografía I.2: Ejemplos de AMM con problemas de durabilidad: (a) Concorde overpass durante una inspección especial en 2004, dos años antes de su colapso [3]; (b) paso superior en carretera CV-500 cerca de Valencia (foto propia); (c) AMM en puente peatonal [4]; (d) fisuras en estructura de aparcamiento en Pittsburg, USA [5].

Recientemente se observa un renovado interés en el estudio de los AMM. Dicho interés está motivado tanto por la inexistencia de procedimientos contrastados para evaluar las aberturas de fisura en estos elementos que permitirían garantizar su correcta durabilidad, como por el estudio del empleo de nuevos materiales aplicado a su diseño y refuerzo.



Fotografía I.3: Fallo del paso superior Concorde en Quebec en 2006 [3]: (a) Vista general del colapso; (b) Detalle de los AMM tras la rotura

Un incidente que también ha favorecido a renovar el interés en estos elementos fue el fallo, en 2006, de un paso superior (Concorde overpass) ejecutado con AMM en Québec [3] (véanse Fotografía I.3). Este fallo causó un total de 5 víctimas mortales y se achacó a una combinación de errores de diseño y problemas de durabilidad debidos a la fisuración en el apoyo. Cabe destacar que la estructura estaba sometida a inspecciones periódicas (véase Fotografía I.2.a).

Dada la problemática indicada para los AMM y debido a la escasez de estudios en detalle de su fisuración en servicio, en el presente trabajo se plantea un estudio que aborda, tanto el comportamiento en rotura de los AMM, como su comportamiento en servicio y especialmente su fisuración.

Este estudio forma parte de los trabajos realizados en el proyecto de investigación “Estudio Experimental y Numérico de Regiones D Planas y Espaciales en Estructuras de Hormigón. Aplicación a Apoyos a Media Madera y Cálices” (acrónimo BT3D) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (ref. BIA2009-11369), desarrollado en el Laboratorio del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón de la Universidad Politécnica de Valencia y cuyo investigador principal es el profesor Pedro Miguel Sosa.

I.2 Objetivos y relevancia de la investigación

A continuación se detallan los objetivos del estudio:

- Establecer las carencias del estado del conocimiento actual sobre los AMM, especialmente en lo relativo a la abertura de fisura generada en la esquina de las piezas.
- Complementar los ensayos experimentales preexistentes con una serie de ensayos propia que permita reducir las carencias en el conocimiento actual previamente detectadas.
- Estudiar, a partir de la información disponible en la bibliografía y de la generada en la campaña experimental propia, la influencia que tienen las variables más representativas de los AMM tanto en el comportamiento en rotura como en servicio.
- Aplicar a los ensayos disponibles varias de las metodologías de cálculo en rotura más usuales para este tipo elementos, y desarrollar aquellos aspectos que sean necesarios para mejorar el funcionamiento de dichas metodologías.
- Desarrollar métodos de cálculo de la abertura de fisura para AMM y hacer un análisis comparativo entre ellos y con las metodologías preexistentes.

Para materializar los objetivos propuestos se ha desarrollado un programa experimental que comprende un total de 60 ensayos de AMM con registro continuo de la abertura de fisura. Se ensayan elementos tipo viga de 3.00 m de luz y sección 25x60 cm, reducida a 25x30 cm en los apoyos. Se analizan distintas cuantías y disposiciones de armado, así como la influencia de variantes constructivas como son el biselado del vértice, el pretensado de la armadura horizontal, el empleo de hormigón reforzado con fibras de acero y la disposición de armaduras secundarias sobre el apoyo.

Entre las contribuciones relevantes y novedosas que aporta el presente estudio cabe destacar:

- La campaña experimental realizada aporta un número considerable de ensayos de AMM (60) con respecto a los 358 preexistentes, de los cuales sólo 141 contaban con algún tipo de registro de la abertura de fisura.
- La medición continua de la abertura de fisura mediante técnica fotogramétrica es novedosa en este tipo de elementos. Sólo en 24 ensayos preexistentes de AMM se cuenta con un registro continuo de la abertura de fisura. A diferencia del presente estudio, en estos casos la técnica empleada no permite registrar correctamente fisuras con una inclinación distinta a la presupuesta.
- Se establece la influencia, hasta ahora desconocida, que el biselado de la esquina de los AMM tiene respecto a la abertura de fisura.
- Sólo un estudio anterior analiza el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) en este tipo de elementos. A diferencia de dicho estudio en el presente se ensayan AMM ejecutados con HRFA a escala real.
- Se propone un método racional basado en un modelo físico para el cálculo de la abertura de fisura en los AMM que permite la estrategia de diseño de los niveles de aproximación.
- Se propone un método empírico para el cálculo de la abertura de fisura en los AMM a partir de un ajuste estadístico de las principales variables del proceso.
- Se hace un estudio comparativo de los distintos procedimientos existentes para el cálculo de la abertura de fisura, tomándose como referencia un banco de datos experimentales relativamente amplio.
- El estudio ha desarrollado e implementado en el método de los campos de tensiones elasto-plásticos una metodología para el análisis de fenómenos de spalling que permite el análisis consistente de los AMM con esta metodología.
- Es la primera vez que se aplica el método de los campos de tensiones a elementos ejecutados con hormigón reforzado con fibras de acero, a partir de un desarrollo realizado del método.
- Se ha desarrollado e implementado un elemento finito para modelos de campos de tensiones elasto-plásticos que permite simular adecuadamente los fenómenos de spalling del recubrimiento de las armaduras que han sido observados en los AMM.
- Se ha propuesto e implementado una ley elasto-plástica en tracción para representar el comportamiento del hormigón reforzado con fibras en los modelos de campos tensionales elasto-plásticos, lo que permite extender el uso de este tipo de modelos a este material.

I.3 Contenidos de la tesis

El presente estudio está estructurado en 8 capítulos, el apartado de referencias bibliográficas y 8 anejos.

En el Capítulo II se expone el estado actual del conocimiento de los AMM. En primer lugar, se exponen las metodologías más empleadas en su diseño. Seguidamente se realiza un análisis cronológico de los ensayos experimentales que se han encontrado en la bibliografía especializada sobre este tipo de elementos. A continuación se dedica un apartado específico a detallar los dos métodos de cálculo de abertura de fisura propuestos por otros autores, para terminar realizando un análisis sobre la forma de enfocar el diseño de AMM por varias normativas.

El Capítulo III muestra una descripción detallada del programa experimental. En primer lugar, se define la campaña experimental y las distintas variables a analizar, así como las cargas de diseño estimadas. A continuación se describen las propiedades de los materiales empleados, la configuración del ensayo y la instrumentación dispuesta. Se termina por mostrar una síntesis del proceso de ensayo, que se encuentra debidamente sistematizado, según el protocolo de ensayo adjuntado en el Anejo A.

El Capítulo IV muestra y discute los principales resultados obtenidos en la campaña experimental. Se comienza por describir las fichas de ensayos existentes en el Anejo H, las cuales contienen los resultados experimentales en toda su extensión, para a continuación mostrar las tablas de síntesis de resultados. Se hace una descripción tanto del proceso de fisuración como el de rotura, clasificando las roturas observadas en unos modos de rotura preestablecidos. Por último, se aborda la discusión de resultados, en la que se analiza la influencia de las distintas variables analizadas tanto en la abertura de fisura como en la carga última y se estudia la evolución, con la carga, de una serie de mecanismos resistentes.

En el Capítulo V se estudian modelos de bielas y tirantes ajustados a los AMM. Para ello, inicialmente se construyen modelos de bielas y tirantes detallados a partir de los resultados experimentales para los ensayos con configuraciones más representativas. Fruto del análisis de los modelos anteriores se proponen modelos simplificados para el cálculo en rotura, que se contrastan mediante los resultados de la campaña experimental y los resultados de otros autores.

En el Capítulo VI se aborda el cálculo de los AMM con el método de los campos de tensiones elasto-plásticos. Primeramente se sientan las bases teóricas de la metodología, para a continuación extender la teoría a fenómenos no plásticos, como son los fenómenos de *spalling* y el empleo de hormigón reforzado con fibras de acero. Mediante esta extensión el método da resultados satisfactorios tanto para los resultados de la campaña experimental como para los de otros 5 autores con un rango amplio de configuraciones geométricas y disposiciones de carga. Se estudia, por último, la adecuación en servicio de resultados tales como las deformaciones de las armaduras principales o la distribución de la carga entre los principales mecanismos resistentes.

En el Capítulo VII se proponen dos metodologías para el cálculo de las aberturas de fisura. Se formula un modelo racional basado en un modelo físico que permite la estrategia de diseño basada en

los niveles de aproximación [13], planteándose dos hipótesis cinemáticas alternativas. Se propone también un modelo empírico ajustado a partir de los resultados experimentales, el cual incorpora las principales variables que influyen en la abertura de fisura. El método empírico permite hacer una propuesta simplificada del sobredimensionamiento necesario de la armadura del AMM calculada en estado límite último para verificar el cumplimiento de una determinada abertura de fisura. Las dos metodologías planteadas se ajustan con los datos experimentales propios y se contrastan con datos de otros autores. Para concluir se comparan los resultados de las metodologías planteadas con los resultados de otras dos metodologías de cálculo previamente propuestas en la bibliografía.

Por último, en el Capítulo VIII se sintetiza el trabajo realizado y las conclusiones obtenidas, para terminar apuntando las futuras líneas de investigación que a juicio del autor se abren a partir de la presente investigación. Dicho capítulo se encuentra redactado en inglés para cumplir las exigencias especificadas en el artículo 15 del R.D. 99/2011 sobre la Mención Internacional del doctorado.

Capítulo II

Estado del conocimiento

En el presente capítulo se realiza una revisión sintética del estado del conocimiento de los apoyos a media madera (AMM), comenzando por describir los métodos teóricos más empleados en su diseño. A continuación se analizan los ensayos experimentales que se han encontrado en la bibliografía sobre este tipo de elementos, realizando posteriormente un análisis crítico de las dos metodologías propuestas para el cálculo de la abertura de fisura en servicio. Por último se hace una revisión sobre cómo enfocan distintas normativas el diseño de los AMM.

II.1 Introducción teórica a los métodos de diseño de apoyos a media madera

Los métodos teóricos más empleados en el diseño de AMM son: el método de bielas y tirantes (MBT), el método de los campos de tensiones y el cálculo de las posibles superficies de rotura en el apoyo mediante el '*shear friction method*' y el '*diagonal bending method*'. A continuación se describen estas metodologías.

II.1.1 Método de bielas y tirantes

El MBT es una herramienta muy extendida para el diseño de las estructuras o partes de ellas donde la hipótesis de Navier-Bernoulli no es aplicable. Dichas regiones se denominan regiones de discontinuidad (D) para diferenciarlas de las regiones B en las que sí es aplicable la hipótesis de Navier-Bernoulli. La existencia en una estructura tanto de una discontinuidad geométrica como de una discontinuidad estática (cargas concentradas) genera en el entorno de dichas discontinuidades distribuciones de tensiones internas complejas que invalidan la aplicación de la hipótesis general de Navier-Bernoulli.

Los orígenes del MBT pueden vincularse con los inicios de los modelos empleados para representar el comportamiento del hormigón armado, cuando en 1899 Wilhelm Ritter desarrolló un mecanismo de celosía para explicar el papel de la armadura transversal en la resistencia a cortante de

una viga (véase Figura II.1), que en 1902 fue refinado por Mörsch. Posteriormente se comprobaría que además del trabajo de las armaduras, el trabajo del hormigón en tracción tiene una contribución apreciable en el mecanismo resistente del cortante.

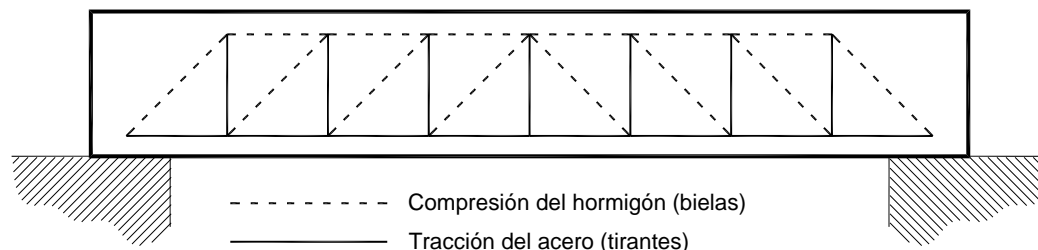


Figura II.1: Modelo de celosía de Ritter

Según Brown [6], en la década de 1970 se retoma el estudio de los modelos de celosía para explicar el comportamiento de vigas sometidas a esfuerzos conjuntos de torsión y cortante. La mayor revolución del MBT sería su aplicación al diseño de regiones D, cuyas bases fueron sentadas por los trabajos de Marti en 1985 [7], [8] y Schlaich et al. en 1987 [9]. Parte de la normativa internacional ha ido adoptando esta metodología para el cálculo resistente de regiones D.

De manera sintética, la forma de proceder para el cálculo de un AMM, siguiendo las indicaciones de Miguel et al. [10] y particularizado a las comprobaciones resistentes de varias normativas de referencia sería la siguiente:

1. Definición de la geometría y del sistema de cargas actuante en el AMM

La geometría de la región D del AMM debe extenderse hasta una distancia igual al canto de la viga desde la sección de cambio de canto (véase Figura II.2). Debe realizarse un cálculo global de la pieza con la finalidad de tener caracterizadas las reacciones en el apoyo y los esfuerzos en la sección de continuidad con el resto de la viga. Para determinar la magnitud y la ubicación de las cargas en la sección de continuidad es necesario realizar un cálculo seccional en la misma a partir de los esfuerzos conocidos. Todas las cargas deben de reducirse a sus resultantes, con la finalidad de obtener un sistema de fuerzas puntuales que pueda ser aplicado a la estructura de bielas y tirantes que se definirá.

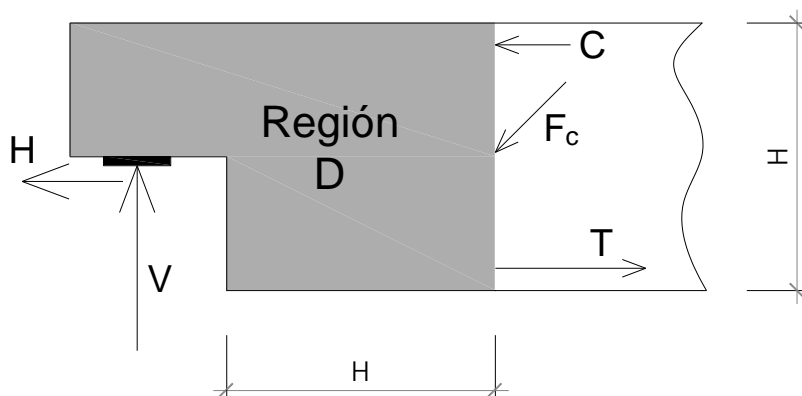


Figura II.2: Geometría de la región D de un AMM y sistema de fuerzas puntuales equivalentes

2. Definición de un modelo de bielas y tirantes para el AMM

Para la definición del modelo de bielas y tirantes a emplear es recomendable partir de un análisis elástico y lineal de la región. Si el modelo se acerca al campo tensional al campo tensional proporcionado por el modelo elástico lineal, se minimizará el volumen de armado y la redistribución plástica requerida. No obstante, seguir este criterio daría lugar a unos armados poco idóneos desde el punto de vista de su facilidad constructiva. Por este motivo, en la selección de los modelos de bielas y tirantes siempre debe haber un equilibrio entre la adaptación al campo tensional elástico lineal y la facilidad constructiva.

Al ser los AMM un tipo de región D muy habitual, en la bibliografía descrita posteriormente se describen numerosos modelos de bielas y tirantes. En la Figura II.3 se proponen tres modelos¹.

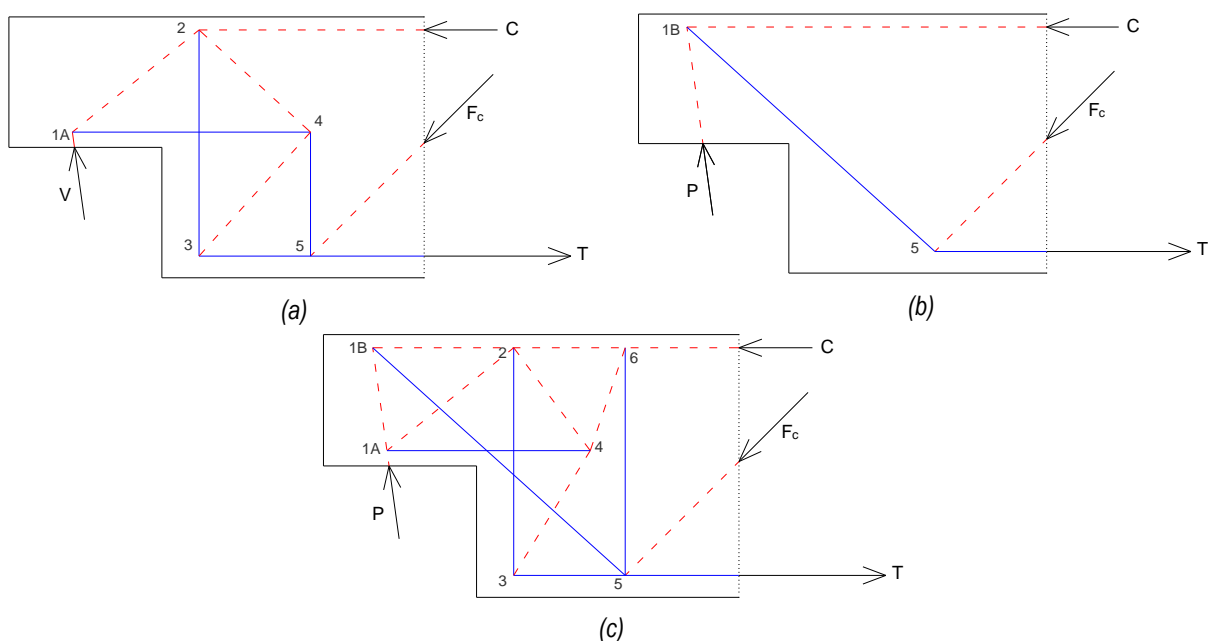


Figura II.3: Modelos de bielas y tirantes: (a) Ortogonal; (b) Inclinado; (c) Mixto

El modelo más fácilmente ejecutable de los propuestos en la Figura II.3 es el (a), puesto que sólo tiene armaduras verticales y horizontales. El esquema más eficiente y que mejor se adapta al campo elástico-lineal es el (b) pero requiere disponer una armadura inclinada. En caso de disponerse dicha armadura es imprescindible disponer también armaduras verticales y horizontales, para evitar por una parte que queden amplias zonas sin armar y, por otra parte, evitar una rotura prematura del apoyo. En estos casos el modelo a emplear sería el indicado en la Figura II.3.c. Como puede observarse éste es un modelo hiperestático de barras articuladas del que no pueden obtenerse los esfuerzos en las bielas y los tirantes a partir de las ecuaciones de equilibrio exclusivamente; en este caso, es habitual trabajar con los esquemas ortogonal e inclinado de manera independiente y realizar alguna hipótesis de

¹ En esta y sucesivas figuras de esquemas de bielas y tirantes se grafían las bielas con líneas discontinuas rojas y los tirantes con líneas continuas azules. A diferencia de esta nomenclatura en el Capítulo VI se muestran resultados de campos de tensiones elasto-plásticos, en los que se representan en azul las compresiones y en rojo las tracciones.

reparto de la carga entre ambos mecanismos que será válida exclusivamente en rotura y siempre que las piezas dispongan de una capacidad de redistribución plástica suficiente.

3. Cálculo de esfuerzos en bielas y tirantes del modelo

Una vez definidas las cargas y el modelo a emplear, la obtención de los esfuerzos en las bielas y los tirantes se reduce al cálculo de una estructura articulada de barras.

4. Determinación del área de armadura en los tirantes

El área mínima de armadura en cada tirante se obtendrá directamente a partir de la tracción en el tirante:

$$A_s \geq \frac{T_d}{f_{yd}} \quad \text{con} \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \leq 400 \text{ MPa} \quad (\text{II.1})$$

donde:

T_d es la tracción en el tirante

A_s es el área de armadura necesaria

f_{yd} es la resistencia de cálculo del acero

La limitación de la tensión de cálculo de las armaduras a 400 MPa de la ecuación (II.1) aparece en los comentarios de la EHE-08 [2], dado que en las regiones D no se analizan las condiciones de compatibilidad. Esta limitación de la tensión de la armadura en rotura limita la tensión de la armadura en servicio controlando que la fisuración de las regiones D sea admisible bajo cargas de servicio. Fruto de las observaciones realizadas en el presente trabajo se concluye que esta limitación no conduce con carácter general a una fisuración admisible en los AMM.

5. Comprobación de bielas

Para la comprobación de las bielas es necesario tener en cuenta su estado de fisuración, para en su caso reducir convenientemente su resistencia. La comprobación general se puede formular de la siguiente forma:

$$N_d \leq N_u = A_c \cdot f_{1cd} = A_c \frac{f_{1c}}{\gamma_c} \quad (\text{II.2})$$

Los distintos valores especificados para la resistencia característica de las bielas (f_{1c}) por las normativas EHE-98 [11], EHE-08 [2], EC-2 [12], MC-2010 [13] y SIA-262 [14] se muestran en la Tabla II.1. Tanto la norma Suiza SIA-262 [14] como el MC-2010 [13] definen la resistencia de las bielas en función de la resistencia plástica del hormigón (f_{cp}). La resistencia plástica es una resistencia reducida (véase Figura II.6) de la resistencia característica (f_{ck}) que permite la realización de un cálculo plástico sin limitar las deformaciones máximas de los materiales. Ambas resistencias están relacionadas mediante el coeficiente η_{fc} propuesto por Muttoni [15] que recoge el aumento de la fragilidad con la resistencia:

$$f_{cp} = \eta_{fc} \cdot f_{ck} \quad (II.3)$$

donde:

$$\eta_{fc} = \left(\frac{30}{f_{ck} \text{ (MPa)}} \right)^{1/3} \leq 1.0 \quad (II.4)$$

El EC-2 [12] especifica una única resistencia para el caso con tracción transversal que contiene el coeficiente ν' dependiente de la resistencia característica del hormigón:

$$\nu' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad (II.5)$$

Tabla II.1: Valores propuestos de resist. característica de las bielas (f_{fc}) (figuras extraídas de Muttoni y Fernández Ruiz [16])

	Hormigón sin fisurar (compresión uniaxial)	Fisuración paralela con armadura perpendicular	Fisuración diagonal con armadura transversal	Fisuración transversal de gran abertura
EHE-98 [11]	$0.85 \cdot f_{ck}$	$0.7 \cdot f_{ck}$	$0.6 \cdot f_{ck}$	$0.4 \cdot f_{ck}$
EHE-08 [2]	$1.0 \cdot f_{ck}$	$0.7 \cdot f_{ck}$	$0.6 \cdot f_{ck}$	$0.4 \cdot f_{ck}$
EC-2 [12] ($f_{ck}=30$ MPa) ($f_{ck}=50$ MPa)	$1.0 \cdot f_{ck}$		$0.6 \cdot \nu' \cdot f_{ck}$ ($0.53 \cdot f_{ck}$) ($0.48 \cdot f_{ck}$)	
MC-2010 [13] ($f_{ck}=30$ MPa) ($f_{ck}=50$ MPa)	$1.0 \cdot f_{cp}$ ($1.0 \cdot f_{ck}$) ($0.84 \cdot f_{ck}$)	$0.75 \cdot f_{cp}$ ($0.75 \cdot f_{ck}$) ($0.63 \cdot f_{ck}$)		$0.55 \cdot f_{cp}$ ($0.55 \cdot f_{ck}$) ($0.46 \cdot f_{ck}$)
SIA-262 [14] ($f_{ck}=30$ MPa) ($f_{ck}=50$ MPa)	$1.0 \cdot f_{cp}$ ($1.0 \cdot f_{ck}$) ($0.84 \cdot f_{ck}$)	$0.8 \cdot f_{cp}$ ($0.8 \cdot f_{ck}$) ($0.67 \cdot f_{ck}$)		$0.55 \cdot f_{cp}$ ($0.55 \cdot f_{ck}$) ($0.46 \cdot f_{ck}$)

Del análisis de la Tabla II.1 se observa que excepto las normativas españolas, en el resto se han ido agrupando los casos para las bielas en zonas fisuradas a sólo 1 o 2, en lugar de 3. Los valores especificados por el MC-2010 [13] coinciden prácticamente con los de la SIA-262 [14]. El único valor especificado por el EC-2 [12] es muy similar al valor más restrictivo especificado por la SIA-262 y el MC-2010, por lo que queda respecto a estas del lado de la seguridad para el caso de fisuración paralela a la biela con armadura perpendicular. Cabe destacar que, para la resistencia a compresión uniaxial especificada en la normativa española EHE-08 [2] y en el EC-2 [12], no se considera el aumento de la fragilidad con el aumento de la resistencia.

Por lo que respecta al cálculo en AMM, las bielas horizontales en los modelos planteados en la Figura II.3 se corresponden con bielas en zonas de compresión uniaxial. La capacidad resistente de la biela 1-3 que parte del apoyo en el modelo ortogonal de la Figura II.3.a depende de la presencia de armadura secundaria sobre el apoyo; dicha armadura coacciona la fisuración transversal, generándose un estado de fisuración diagonal con armadura transversal. En caso de que no exista dicha armadura puede generarse una importante fisuración transversal que puede llegar a ser asimilada al caso más restrictivo de los indicados en la Tabla II.1, dado que el agotamiento de estos elementos suele conllevar la plastificación de las armaduras principales que coaccionan la fisuración de dicha biela. Un análisis específico de la capacidad resistente de dicha biela se aborda en el Capítulo V del presente estudio.

El resto de bielas existentes en la región D deben de asimilarse al caso de fisuración diagonal con armadura transversal.

Comprobación de zonas nodales

En las zonas nodales que tienen alguna restricción geométrica, el estado tensional generado en ellas puede ser más restrictivo que el que se genera en las bielas que a ella confluyen. En estos casos es necesario realizar una comprobación específica de la zona nodal. Por lo que respecta al nudo singular 1 del modelo ortogonal (véase Figura II.3.a), se trata de un nudo CCT (compresión-compresión-tracción) generado por la conexión entre la reacción de la placa de apoyo, la armadura horizontal y la biela inclinada. En la Figura II.4 se muestran los criterios establecidos en el EC-2 [12] para la definición de dicha zona nodal.

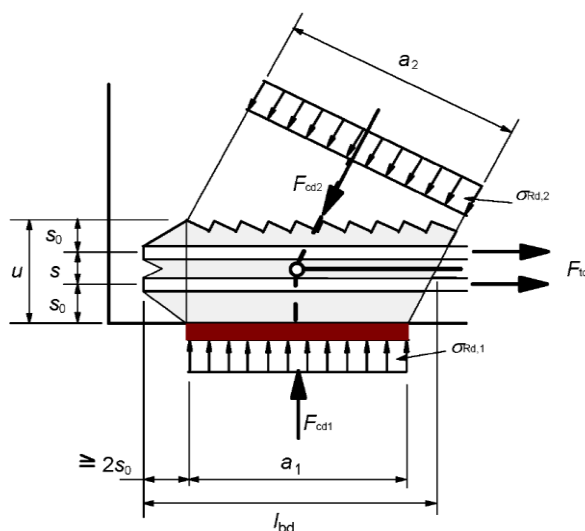


Figura II.4: Definición de geometría zona nodal CCT, extraída de EC-2 [12]

Se deben realizar comprobaciones de tensiones tanto en la sección de la placa de apoyo como en el arranque de la biela inclinada. El valor máximo especificado por la EHE-08 [2] es:

$$\sigma_{\max} \leq f_{2cd} = 0.7 \cdot f_{cd} \quad (II.6)$$

donde:

σ_{\max} es la tensión normal máxima generada en el nudo

El EC-2 [12] especifica un límite de tensión en el que interviene nuevamente el coeficiente reductor ν' definido en la ecuación (II.5) para considerar el aumento de la fragilidad conforme aumenta la resistencia del hormigón:

$$\sigma_{\max} \leq f_{2cd} = 0.85 \cdot \nu' \cdot f_{cd} \quad (II.7)$$

El valor propuesto por el EC-2 [12] coincide con el de la EHE-08 [2] para una resistencia característica de 45 MPa, siendo más conservador para resistencias superiores.

Otro nudo singular es el nudo 3 generado en la cabeza de la armadura de cuelgue (véase Figura II.3.a). Se trata también de un nudo CCT en el que se observan experimentalmente roturas por desprendimiento del recubrimiento comprimido (spalling) que condicionan en algunos casos la resistencia de la región D. Por este motivo su análisis y comportamiento se abordará en el presente estudio.

6. Diseño de anclaje de armaduras

En el AMM será necesario comprobar el anclaje de los distintos tirantes. Cabe destacar el anclaje de la armadura principal horizontal representada por el tirante horizontal 1-4 en la Figura II.3.a. El punto a partir del cual es posible comenzar a contabilizar la longitud de anclaje resulta difícil de determinar; las tensiones tangenciales de adherencia sólo pueden desarrollarse a partir del punto C, pero no podrán ser muy elevadas hasta que la diferencia de ángulo de incidencia de las compresiones a uno y otro lado de la armadura sea suficientemente elevado. Por ello, sería lógico contabilizar el anclaje de la armadura desde un punto intermedio (punto A indicado en la Figura II.5). De manera simplificada, y del lado de la seguridad, la instrucción EHE-08 [2] permite disponer dicho punto sobre la vertical del apoyo (punto B en Figura II.5). El código ACI-318 permite contabilizar el anclaje desde el punto C de la Figura II.5.

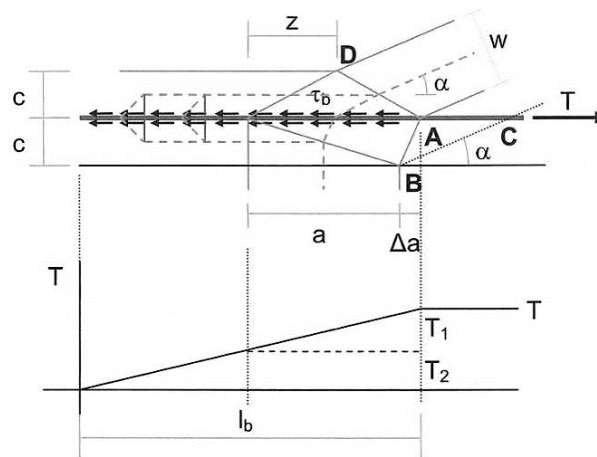


Figura II.5: Simplificación de la distribución de tensiones de anclaje de armadura en nudo CCT extraída de Miguel et al. [10]

Cuando el anclaje se realiza mediante un anclaje normalizado, será necesario comprobar si la longitud neta de anclaje de la armadura supera o no la longitud disponible. En caso de que no pueda disponerse un anclaje normalizado será necesario acudir a otro dispositivo de anclaje como puede ser una chapa de anclaje o el doblado vertical de la barra, en cuyo caso debería estudiarse un mecanismo

específico de bielas y tirantes que contemple la necesidad o no de disponer armadura en forma de horquillas horizontales.

En el nudo 4 (véase Figura II.3), la armadura horizontal transmite su tracción a lo largo de una determinada longitud. Es habitual considerar que el tirante horizontal comienza a ceder parte de su tensión al hormigón al atravesar el tirante vertical (3-5), por lo que desde este punto debería contabilizarse la longitud neta de anclaje². No obstante, algunos estudios [17], [18] recomiendan disponer el anclaje desde el punto en que la armadura es atravesada por la fisura generada desde la esquina del extremo inferior de la viga (véase Figura II.36), que vendría a coincidir con la posición del nudo final del tirante (nudo 4) del modelo ortogonal de la Figura II.3.a.

II.1.2 Campos de tensiones

El método de los campos de tensiones es una herramienta fundada en la teoría de la plasticidad que permite el dimensionamiento y verificación de elementos y estructuras de hormigón armado y pretensado. Su aplicación se emplea también para el análisis de estructuras en acero estructural o bien de fábrica.

El origen de la metodología se encuentra en los estudios de plasticidad, siendo la primera aplicación estructural de ésta el estudio de Drucker [19] de vigas solicitadas a cargas puntuales y distribuidas. Sus fundamentos se desarrollaron entre las décadas de los años 1970 y 80 en las escuelas técnicas de Zürich con los estudios de Thürlimann y de Copenhague con el trabajo liderado por Nielsen [20], [21]. De entre los trabajos realizados en Zürich sobre campos de tensiones cabe destacar los de Müller [22], Marti [23] y Muttoni [15].

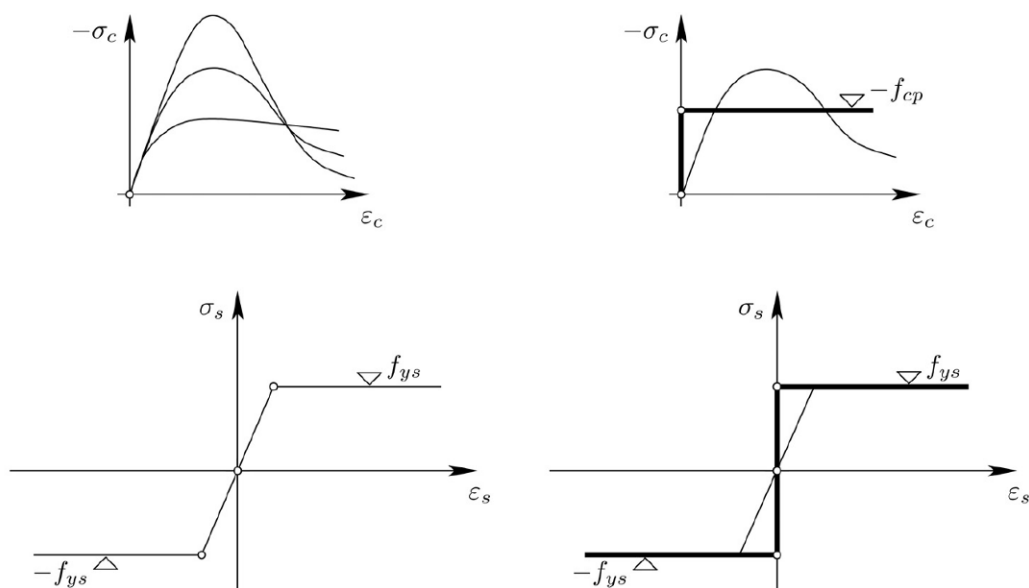


Figura II.6: Idealización rígido perfectamente plástica de los materiales, extraído de Muttoni y Fernández Ruiz [24]

² De manera rigurosa hay una zona desde que se atraviesa el tirante vertical en que no se comienzan a ceder tracciones. Esto es debido a que las compresiones en abanico no pueden producirse con ángulos muy cercanos al vertical por la incompatibilidad de deformaciones entre la armadura vertical traccionada y las compresiones cercanas a su posición.

El método de los campos de tensiones es un método análogo en muchos aspectos al MBT, pero en el que las bielas y los nudos tienen dimensiones finitas, de forma que los esfuerzos en el hormigón pueden ser comparados fácilmente con su resistencia. Permite identificar claramente las zonas críticas y ajustarse mediante un proceso iterativo al mecanismo resistente óptimo. Se trata por tanto de una idealización estructural en la que se trabaja con tensiones, a diferencia de lo que sucede con el MBT, en el cual la modelización inicial se realiza con fuerzas resultantes, con las que posteriormente se realizan comprobaciones tensionales en bielas y nudos (véase apartado II.1.1).

Por lo que respecta a las leyes constitutivas de los materiales, es necesario la definición de la tensión de plastificación de los distintos materiales. Para la resolución simple de estos modelos es habitual considerar la hipótesis de comportamiento rígido perfectamente plástico de los materiales, tal y como se muestra en la Figura II.6. La consideración de esta hipótesis da lugar a campos de tensiones formados por regiones delimitadas por líneas de discontinuidad en los que se aceptan cambios en los valores de las tensiones paralelas a uno y otro lado de la misma (véase Figura II.7). Suelen buscarse modelos en los que las tensiones principales resulten paralelas a la propia línea simplificando la resolución del campo de tensiones. Se detalla a continuación esta metodología.

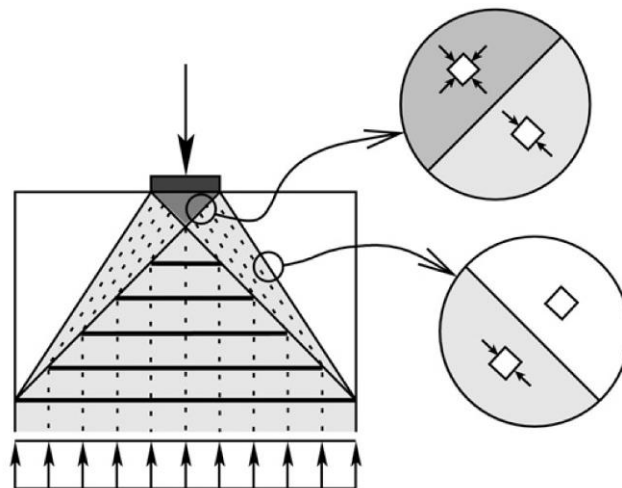


Figura II.7: Ejemplo de campo de tensiones y detalle de líneas de discontinuidad, extraído de Muttoni y Fernández Ruiz [24]

1. Idealización de los materiales

El acero se idealiza considerando como valor de resistencia plástica su límite elástico (véase Figura II.6). En el caso del hormigón, para determinar la resistencia plástica (f_{cp}) se considera el aumento de la fragilidad conforme lo hace la resistencia (véase Figura II.6). Diversas formulaciones han sido propuestas para minorar la resistencia plástica equivalente respecto a la característica (f_{ck}), en caso de que ésta sea superior a unos 20-30 MPa. El procedimiento más extendido es el empleo del coeficiente reductor η_{fc} propuesto por Muttoni [15] y contenido en el MC-2010 [13] y en la SIA-262 [14]. El coeficiente η_{fc} se describe en las fórmulas (II.3) y (II.4).

2. Comprobación en los elementos básicos de los campos de tensiones

a. Tirantes

La comprobación en los tirantes es totalmente análoga a la realizada en bielas y tirantes. Debe verificarse que el área de armadura dispuesta garantiza una tensión en el tirante inferior a la resistencia plástica equivalente minorada por el coeficiente de seguridad correspondiente. También deben de verificarse las condiciones de anclaje de las armaduras.

b. Bielas

La verificación de las bielas se realiza analizando su tensión máxima de compresión. La resistencia del hormigón en dicha dirección depende del estado de deformaciones transversales. La resistencia de la biela será idéntica a la resistencia plástica equivalente (f_{cp}) sólo en el caso de compresión uniaxial. Para otros estados de carga se consideran los coeficientes reductores previamente especificados en la Tabla II.1.

c. Nudos

Los nudos se generan en la confluencia de bielas y/o tirantes. Existen distintas tipologías y formulaciones para su verificación.

Con la verificación de estos elementos quedaría verificado un elemento estructural mediante el método de los campos de tensiones.

A diferencia de lo que sucede en el método de bielas y tirantes, existe un número limitado de estudios sobre procedimientos para el desarrollo sistemático de campos de tensiones. Su desarrollo está fuertemente basado en la intuición y la experiencia [25]. Cabe citar como una aportación de referencia para el desarrollo sistemático de campos de tensiones la metodología desarrollada por Muttoni et al. [26]. Aunque todas las metodologías anteriores conducen a una cierta sistematización en el planteamiento de los modelos de bielas y tirantes o campos de tensiones, el proceso de diseño o verificación de un elemento estructural con dichas metodologías requiere de cierta experiencia y tiempo de proceso.

II.1.3 Distribuciones de tensiones basadas en elementos finitos

Para solventar las desventajas citadas respecto al desarrollo de modelos de bielas y tirantes o campos de tensiones, diversos autores han desarrollado herramientas informáticas basadas en el método de los elementos finitos que pueden ser utilizadas tanto para el diseño como para la comprobación de regiones D. Entre ellas cabe citar la herramienta MEFBT desarrollada por Sola García y Miguel Sosa [27]–[29] en el Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón de la Universidad Politècnica de València, así como la desarrollada por Fernández Ruiz y Muttoni [25] para la generación automática de campos de tensiones elasto-plásticos, implementado en un programa informático de código abierto, disponible junto a colecciones de ejemplos en la siguiente dirección: <http://i-concrete.epfl.ch/>. Estas herramientas han demostrado ser una estrategia adecuada para el diseño y verificación de regiones D.

En el Capítulo VI se aborda el análisis de AMM mediante la herramienta de los campos de tensiones elasto-plásticos desarrollada por Fernández Ruiz y Muttoni, fruto de las estancias realizadas

por el autor en el Structural Concrete Laboratory (IBETON) de la École Polytechnique Fédéral de Lausanne dirigido por el profesor Muttoni.

II.1.4 Shear friction and diagonal bending methods

Una metodología que también se ha empleado con bastante éxito para evaluar la resistencia de los AMM es el *shear friction method*. Se trata de una metodología presente entre otras en las normativas americana (ACI 318-08 [30]) y canadiense (CSA A23.3-04 [31]). El código ACI lo trata en su sección 11.6 y se refiere a él como un método apropiado para evaluar el cortante transmitido en un plano conocido, como una fisura potencial o existente, la junta entre dos materiales distintos o la junta entre dos hormigones de edades distintas. Se debe partir por tanto de un determinado plano en el que se evalúa la resistencia a cortante, a la que contribuyen tanto el efecto pasador de las distintas armaduras intersectadas como el hormigón debido a la fricción generada en la supuesta fisura; se debe satisfacer el equilibrio de las distintas fuerzas actuantes (Figura II.8).

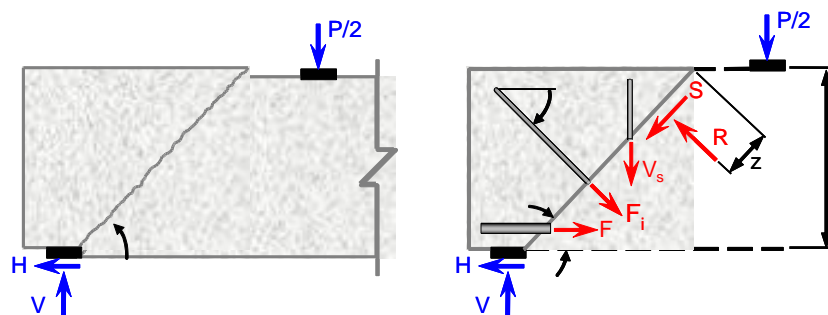


Figura II.8: Esquema de fuerzas en el *shear friction method*, extraído de Herzinger [32]

El *diagonal bending method* complementa al *shear friction method*, ya que permite prever posibles roturas por flexión en zonas con elevados esfuerzos de cortante y fisuración diagonal, como es el caso de los AMM. En estos casos la hipótesis de Navier-Bernouilli no es aceptable. En *diagonal bending method* se considera que la fisura no atraviesa completamente la pieza (como sucedía en el caso del *shear friction method*), sino que deja una determinada cabeza de compresión en el hormigón. El esquema de fuerzas considerado en este método es el que se muestra en la Figura II.9.

Varios estudios [4], [32], [33] han aplicado ambas metodologías de manera conjunta para evaluar la resistencia de los AMM y predecir tanto el modo de fallo como la localización de la fisura crítica. Para ello, a partir de un determinado diseño del AMM se analizan distintos planos de rotura, obteniendo el plano más débil. La formulación a emplear y la metodología se encuentran desarrollados de manera detallada en el estudio de Herzinger de 2008 [32].

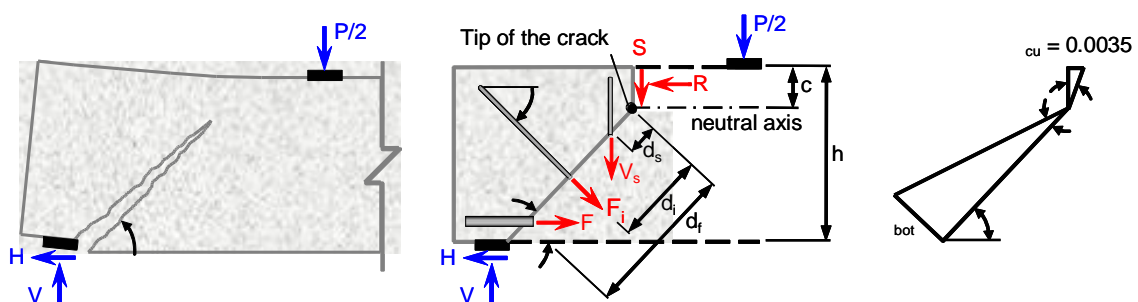


Figura II.9: Esquema de fuerzas en el *diagonal bending method*, extraído de Herzinger [32]

A continuación, en el apartado II.2 se resumen las conclusiones de diversas investigaciones encontradas en la literatura especializada. En algunas de ellas se aplican y comparan el MBT y el *diagonal bending method* junto con el *shear friction method*. Concretamente el estudio de Herzinger [32] se refiere al MBT como un método suficientemente conservador como para realizar el dimensionamiento, mientras que el *diagonal bending method* y el *shear friction method* predicen la ubicación de la fisura crítica y la resistencia de la pieza con precisión.

II.2 Análisis de los ensayos experimentales existentes en la literatura

Las investigaciones de AMM existentes pueden dividirse en tres grandes etapas. La primera etapa comprende las primeras investigaciones y formulaciones de cálculo para estos apoyos. Esta etapa se extiende hasta 1987 en que se sientan las bases del MBT [9]. A continuación se abre un periodo en que las investigaciones fundamentalmente tratan de corroborar la validez del MBT para el diseño de los AMM. En el año 2000 ya se encuentra contrastado el diseño en rotura mediante el MBT, pero desde entonces se desarrollan un elevado número de investigaciones que muestran un renovado interés por el estudio de AMM debido a los siguientes aspectos:

- El colapso con víctimas mortales de un paso superior construido con AMM (Concorde Overpass) el 30 septiembre de 2006 en Laval, Quebec, Canadá [3] (véanse Fotografía I.3 y Fotografía II.1), causado por unos defectuosos detalles de armado y problemas de durabilidad.
- La popularización de materiales no convencionales, como son el hormigón de alta resistencia o los refuerzos mediante materiales compuestos, que podrían ser de utilidad para AMM.
- Las evidencias de que el diseño en servicio de estos elementos, en lo que respecta a la fisuración producida en su esquina, resulta más condicionante que el diseño en rotura.



Fotografía II.1: Imagen de la fisuración en el paso superior Concorde tomada durante una inspección 30 minutos antes del colapso de la estructura [3]

En la Tabla II.2 se resumen las principales características de los distintos ensayos experimentales sobre AMM encontrados en la literatura. La codificación empleada en dicha tabla para la

geometría de las piezas se detalla en la Figura II.9. Cabe destacar que en el caso de las vigas en T se especifican 3 valores del ancho (b_1 - b_2 - b_3) para definir la sección transversal de las piezas, según las indicaciones de la Figura II.10.

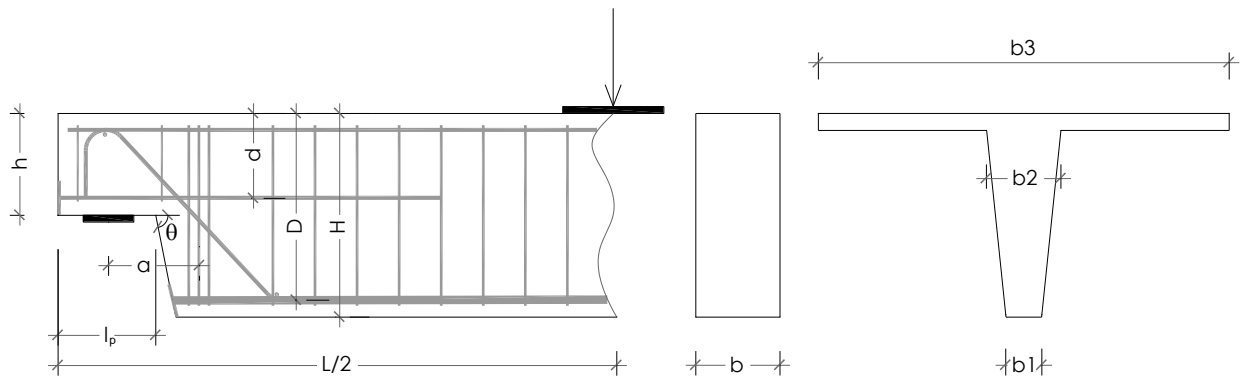


Figura II.10: Codificación de geometría de las piezas

Al analizar la Tabla II.2 se observa que gran parte de las investigaciones que estudian la fisuración en servicio de los AMM lo hacen sobre vigas de hormigón pretensado en las que dicho problema es menos crítico que en las vigas de hormigón armado.

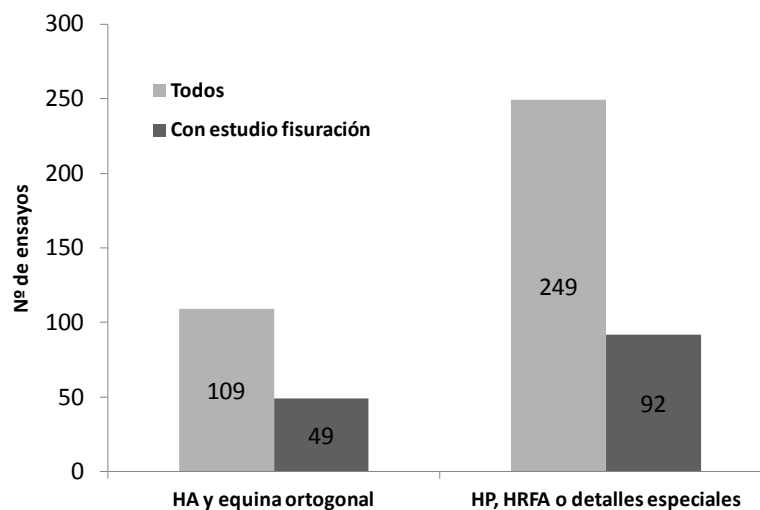


Figura II.11: Síntesis gráfica de ensayos de AMM encontrados en la bibliografía según características y disponibilidad de resultados de aberturas de fisura

En la Figura II.11 se realiza una síntesis del número de ensayos encontrados en la bibliografía, detallando si se ha analizado su fisuración o no, y agrupando entre piezas de hormigón armado con ángulo ortogonal ($\theta=90^\circ$, véase Figura II.10) o piezas de distintas características (hormigón pretensado -HP-, hormigón reforzado con fibras de acero -HRFA-, piezas con ángulo no ortogonal o piezas con detalles de armado o características especiales). Resulta destacable el reducido número de ensayos (49) en piezas de hormigón armado sin detalles especiales de armado en los que se dispone de resultados de aberturas de fisura, a pesar de que este aspecto resulta ser condicionante en estos elementos. Es necesario disponer de un mayor número de ensayos con resultados de fisuración sobre AMM para tener una base suficiente como para desarrollar metodologías que permitan evaluar el comportamiento en servicio de estos elementos.

Tabla II.2: Resumen de ensayos experimentales de apoyos a media madera encontrados en la bibliografía

Estudio	Año	(N)	(H)	(F)	(P)	(T)	(R)	(I)	H (mm)	h (mm)	I_p (mm)	b (mm)	L (mm)	a/d**	h/H	θ (°)
Reynolds [34]	1969	24	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	254	127	127	127	1360	0.97	0.50	90
Werner & Dilger [35]	1973	5	Conv.	✗	✓	✗	✗	✓	330	165	100	170	2340	-	0.50	90
Hamoudi et al. [36]	1975	8	Conv.	✗	✓	✓	✗	✓	810	355-660	115-405	100-230-1200	9400	-	0.44-0.82	90
Menon & Furlong [37]	1977	1	Conv.	✓	✓	✓	✓	✗	863	406	254	305-457	5200	-	0.47	90
Chan [17]	1979	8	Conv.	✓	✗	✗	✗	✓	610	305	203	127	3050	0.55-0.69	0.50	90
Khan [38]	1981	10	Conv.	✓	✗	✗	✗	✓	610	305	320-500	127	3050	0.82-1.5	0.50	90
Liem [39]	1983	8	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	610	305	203	127	3050	-	0.50	45-90
Chung [40]	1985	8	Conv.	✓	✗	✗	✗	✓	610	405-483	320-630	127	3050	0.60-1.25	0.67-0.79	90
Ajina [41]	1986	18	HRFA	✓	✗	✗	✗	✗	254	102-127	203	127	1295	1.41-1.85	0.4-0.5	90
Mattock & Theryo [42]	1986	12	Conv.	✓	✓	✓	✗	✓	457	228	152	95-146-1219	4500	-	0.50	45-60-90
Cook & Mitchell [43], [44]	1987	4	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	600	250	138	300	3000	0.72-0.87	0.42	52.5-90
Clark & Thorogood [45], [46]	1988	46	Conv.	✓✓	✗	✗	✗	✓	460	210	250	300	2200	0.69-1.18	0.46	90
Barton [47]	1988	4	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	787	432	203	305	3500	0.40	0.55	90
Clark et al. [48]	1989	12	Conv.	✗	✓	✗	✓	✗	186	90	75	-	1000	-	0.48	90
So [49]	1989	4	Conv.	✗	✓	✓	✓	✓	400	200	200	122-155-1200	5000	-	0.50	60-90
Mader [50]	1990	4	Conv.	✗	✓	✗	✗	✗	700	330	230	330-254	6550	0.55-0.63	0.47	90
Kumaraguru [33]	1992	12	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	400	200	500	150	4200	0.57-1.31	0.50	90
Lin et al. [51]	2003	24	HAR	✗	✗	✗	✗	✗	600	300-460	400	200	3600	0.57-0.89	0.5-0.76	90
Lu et al. [52]	2003	12	HAR	✗	✗	✗	✗	✗	600	300	300	200	3000	0.52-0.89	0.50	90
Zhu et al. [53]	2003	7	Conv.	✓✓	✗	✗	✗	✗	1000	500	480	460	2430	0.71	0.50	90
Taher [54]	2005	52	Conv.	✗	✗	✗	✓	✗	300	150	300	200	2000	1.80	0.50	90
Wang et al. [55]	2005	24	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	300-370	100-190	150	150-214	1500	0.84-1.53	0.45-0.5	90
Huang & Nanni [56]	2006	5	Conv.	✓	✓	✓	✓	✓	712	403	105	2-(114-178-690)	7721	0.40	0.57	90
Herzinger [4], [32]	2008	18	Conv.	✓	✗	✗	✓	✓	500	250	180	225	2360-3360	0.70-0.75	0.50	90
Mitchell et al. [57]	2009	4	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	600	300	230	300	3000	0.75-1.00	0.50	90
Nagrodzka-Godycka [58]	2012	12	Conv.	✓	✗	✗	✗	✓	400	200	200	200	1900	1.35-1.60	0.50	90
Nagy-György et al. [59]	2012	4	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	1500	800	810	660	6240	1.18	0.53	90
Ahmad et al. [60]	2013	4	Conv.	✗	✗	✗	✗	✗	305-457	178-279	127	228	2185	-	0.60	90
Moreno-Martínez [61]	2014	4	Conv.	✓	✓	✗	✓	✗	480	250	275	1000	1750	-	0.52	90

Total **358**

(N): Nº de ensayos realizados

(H): Tipo de hormigón (Conv.=Hormigón Convencional $f_c \leq 50$ MPa ; HAR=Hormigón de Alta Resistencia $f_c > 50$ MPa ; HRFA=Hormigón Reforzado con Fibras de Acero)

(F): Estudio aberturas de fisura – Propuesta metodología de cálculo (✓✓), resultados w (✓), sin resultados w (✗).

(P): Piezas de hormigón pretensado // (T): Vigas en T // (R): Análisis de refuerzos especiales

(I): Aplicación de componente horizontal en la carga del apoyo

* Nomenclatura de geometría detallada en la Figura II.10 ** No posible su definición si no existe tirante vertical

Además, cabe remarcar que únicamente Reynolds [34], Clark y Thorogood [45], [46] y Moreno-Martínez y Meli [61] han ensayado AMM con la esquina biselada. En todos los casos la totalidad de los elementos ensayados disponen bisel, por lo que se desconoce el efecto que el bisel tiene sobre la fisuración de los AMM.

A continuación se describen los ensayos experimentales más relevantes encontrados en la bibliografía especializada, sus principales características, así como las principales conclusiones obtenidas.

II.2.1 Primeras investigaciones (hasta 1987)

Hasta la publicación en 1969 del estudio experimental de Reynolds [34], sólo se habían realizado ensayos de fotoelasticidad sobre AMM y algunos ensayos sobre nudos biselados (*scarf joints*) para estructuras prefabricadas, que tienen cierta analogía con los AMM [62]. En el estudio de Reynolds se ensayaron un total de 24 AMM de geometría idéntica, sometidos exclusivamente a carga vertical, tratando de determinar la influencia en la resistencia última de distintos detalles de armado. Se comprueba que la armadura inclinada aporta una mayor resistencia que las armaduras vertical y horizontal, y que para que los estribos verticales cercanos a la sección de cambio de canto aporten resistencia al apoyo, deben de estar convenientemente anclados en su parte inferior; esto último requiere que el armado inferior de la viga se prolongue hasta el final de la viga, tal y como se observa en la Figura II.12.a. Reynolds propuso un método de cálculo para determinar la resistencia de los AMM, basándose en el equilibrio de fuerzas y momentos a lo largo de las dos fisuras de rotura observadas en los ensayos, partiendo ambas de la esquina. La fisura de rotura más usual tiene una inclinación de unos 45° y atraviesa la armadura vertical (Figura II.12.b), la horizontal y la inclinada, pero también es posible que la fisura sea más vertical y acabe en la cabeza de los estribos verticales (Figura II.12.c).

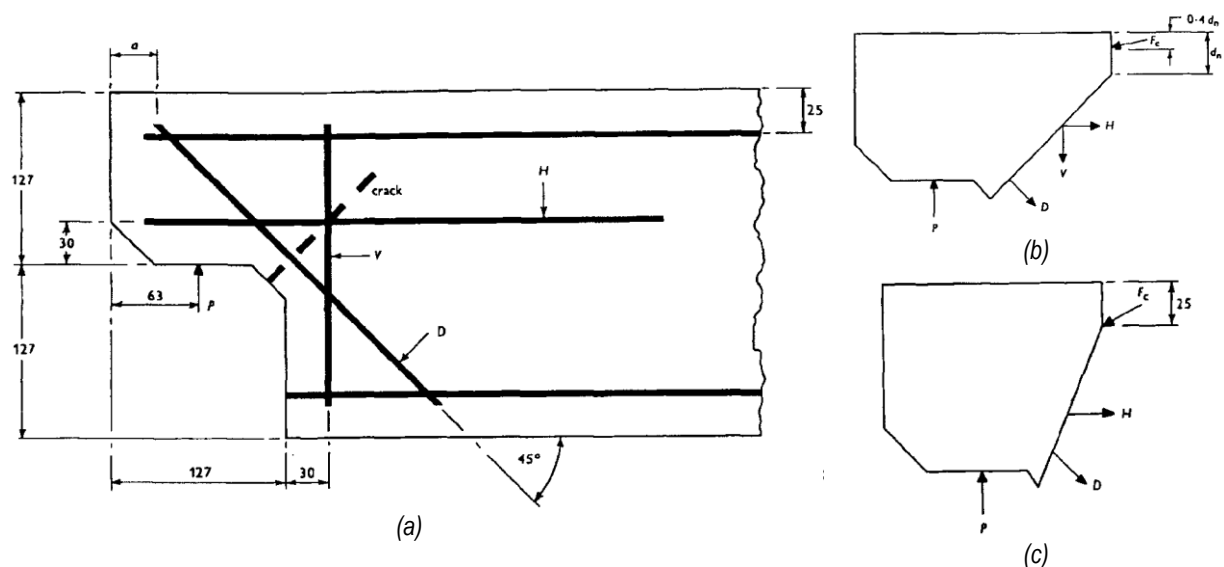


Figura II.12: Ensayos de Reynolds [34]: (a) Dimensiones del apoyo y detalles del armado; (b) Esquema de cálculo en rotura presuponiendo fisura a 45° ; (c) Esquema de cálculo en rotura con fisura hacia parte superior del estribo vertical

En 1973 Werner y Dilger [35] ensayan 5 vigas pretensadas con armadura postesa mediante barras Dywidag y estudian la influencia de 3 esquemas distintos de armado (sin armadura pasiva, con armadura pasiva vertical y con armadura pasiva inclinada) y de la existencia de componente horizontal en la carga del apoyo. Se concluye que la armadura vertical y la inclinada son igual de eficientes y que la resistencia del apoyo para piezas pretensadas puede obtenerse sumando la contribución por cortante del hormigón antes de fisurar, con las componentes verticales del pretensado y de las armaduras pasivas. También se remarca la dificultad del anclaje de la armadura activa, que debería realizarse con placas de anclaje en el caso de apoyos reducidos (Figura II.13.c). El estudio incluye además un análisis mediante elementos finitos para obtener la carga de fisuración.

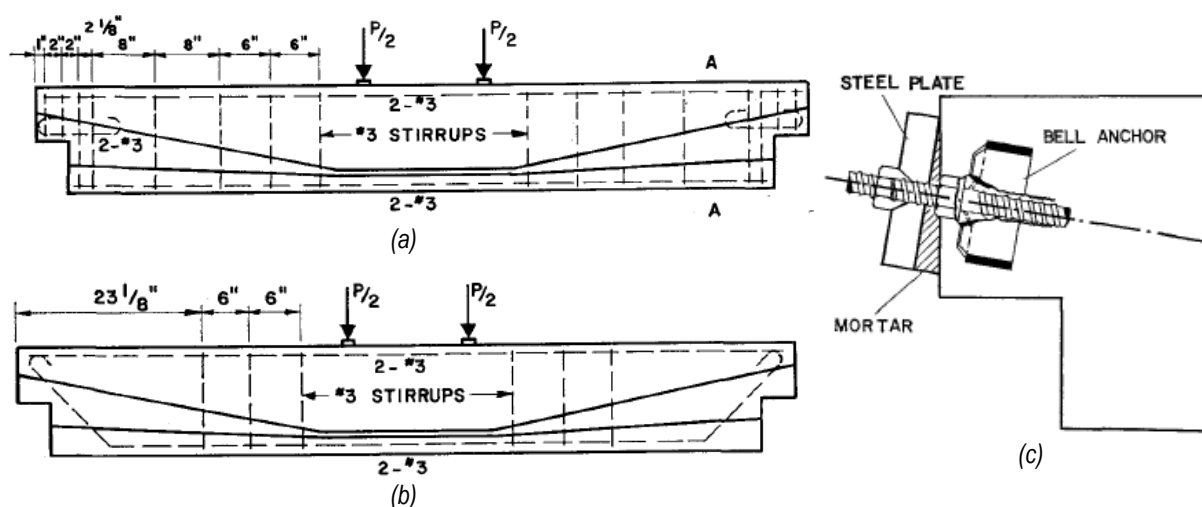


Figura II.13: AMM ensayados por Werner y Dilger [35]: (a) Armado de piezas con armadura pasiva ortogonal; (b) Armado de piezas con armadura pasiva inclinada; (c) Detalle del anclaje de la armadura activa

Hamoudi, Phang y Bierweiler publican en 1975 [36] los resultados de los ensayos sobre 8 vigas en T con distintas geometrías. Ensayan piezas pretensadas con armadura postesa compuesta por barras inclinadas de alto límite elástico (ver Figura II.14) y piezas con armadura pasiva convencional. Se remarca que las piezas pretensadas evitan que se produzca la fisuración de las piezas en servicio, con el inconveniente de que al fisurar se produce el colapso de manera súbita, comportamiento completamente diferente al observado en las piezas con armadura pasiva. Respecto a la influencia de la geometría se concluye que la resistencia de los apoyos se ve incrementada con el cociente h/H (véase Figura II.10).

En 1977 Menon y Furlong [37] ensayaron una viga pretensada con refuerzos especiales metálicos distintos en cada uno de los apoyos, concluyendo que el comportamiento en servicio es claramente mejor en el detalle que incorpora un tirante inclinado con placas de anclaje en los extremos (Figura II.15), frente al detalle que dispone placas metálicas paralelas al eje de la viga a las que se sueldan las barras. Se propone un procedimiento de cálculo basado en dos planos de rotura análogos a los propuestos por Reynolds [62].

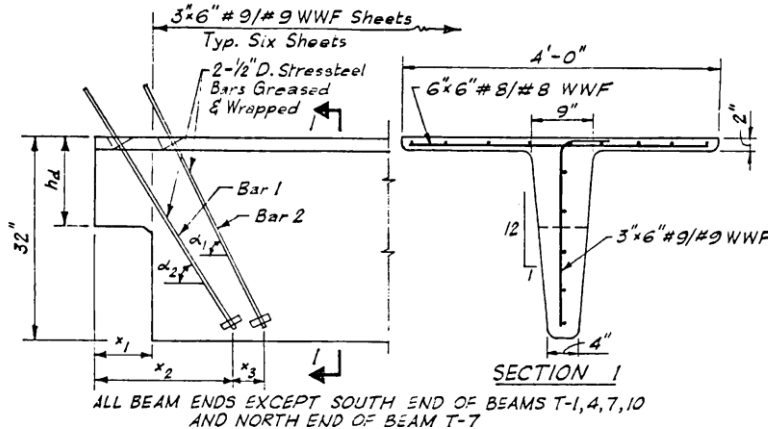


Figura II.14: Detalle de geometría y pretensado de los apoyos ensayados por Hamoudi et al. [36]

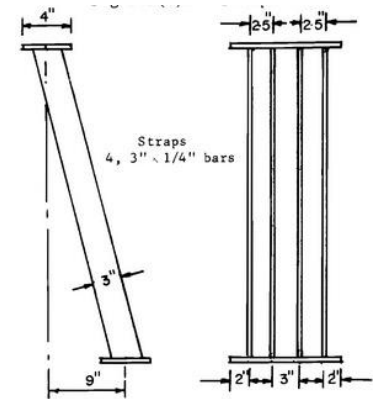


Figura II.15: Detalle de tirante inclinado ensayado por Menon y Furlong [37]

Entre 1979 y 1985 se publican 3 trabajos muy similares llevados a cabo en la Universidad de Washington bajo la dirección de Alan H. Mattock [17], [38], [40], en los que se ensayan un total de 26 AMM. En todos los casos la geometría global de las piezas ensayadas es similar, salvo en los casos en los que se estudia la influencia de la geometría en el comportamiento de los apoyos. No se plantea ninguna pieza con armadura inclinada. Cada uno de los dos apoyos de cada viga se ensaya independientemente: uno se somete exclusivamente a carga vertical, mientras que el otro incorpora además una componente horizontal de la carga controlada por actuadores horizontales (Figura II.16).

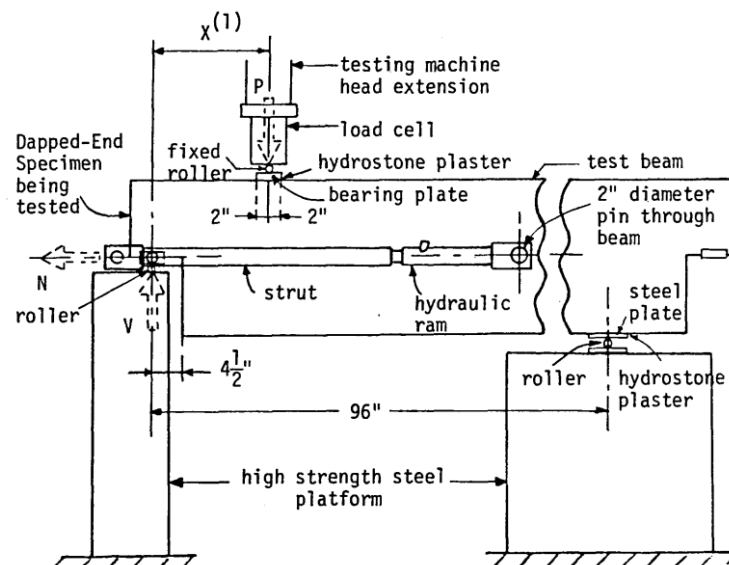


Figura II.16: Esquema de los ensayos realizados por Chan, Khan y Chung entre 1979 y 1985 [17], [38], [40]

En 1979 (Chan [17]), en el primero de la serie de estudios de Mattock se aconseja despreciar la contribución del hormigón a la resistencia de los AMM de hormigón armado, recalándose la importancia de situar los estribos del tirante vertical lo más cercanos posibles al borde de la viga, así como de cuidar los detalles de anclaje. A partir de estos resultados Mattock y Chan plantean en 1979 unas recomendaciones para el cálculo de AMM [18], evaluando la flexión, el cortante y el axil, de manera análoga a como se realizaba en aquella época en el caso de las ménsulas cortas. Estas recomendaciones son las que sirven de base a las que recogería el PCI Design Handbook en su 3ª

edición de 1985 [63] y que serían las más extendidas hasta la aparición del MBT. La metodología del PCI ha permanecido sin variaciones sustanciales hasta la edición actual del mismo de 2010 [64], que se analizará en detalle posteriormente en el apartado II.4.7; en lo sucesivo nos referiremos a este procedimiento como el método del PCI. Los ensayos de Khan de 1981 [38] comprueban la validez de la formulación anterior para rangos de a/d (véase Figura II.10) superiores a la unidad, concluyendo que en los casos en los que el apoyo es largo se requieren estribos verticales y horizontales en la zona de menor canto. Chung en 1985 [40] ensaya piezas con relaciones entre el canto del apoyo y el canto de la viga (h/H) superiores a 0.5, verificando también para esta disposición la validez del procedimiento propuesto por Mattock y Chan.

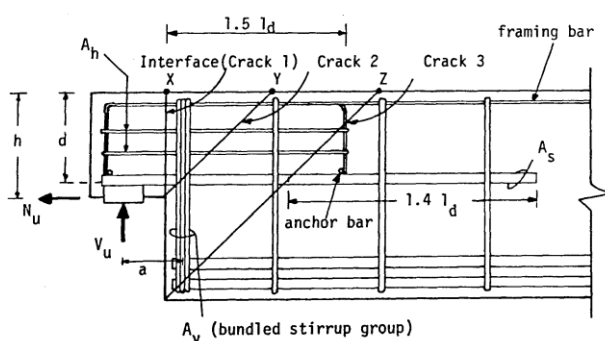


Figura II.17: Armado tipo de AMM empleado en la formulación de Mattock y Chan [18]

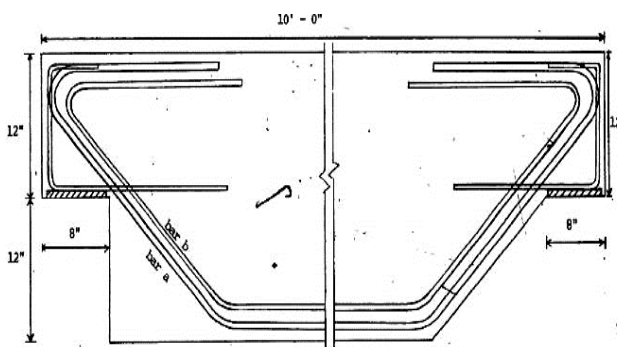


Figura II.18: Geometría y armado de los apoyos ensayados por Liem [39]

Por su parte, en 1983 Liem [39] publica los resultados de un total de 8 apoyos con una geometría global similar a la usada por Chan, Khan y Chung [17], [38], [40], pero empleando armaduras inclinadas y haciendo una transición continua del canto (véase Figura II.18). El estudio destaca la eficacia de la armadura inclinada y no obtiene diferencias en la resistencia debido a la transición continua del canto.

En 1986 Ajina [41] realiza el único estudio que se ha encontrado documentado sobre el comportamiento de AMM con hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA). Estudia la fisuración y la carga de rotura de 18 apoyos con distintos esquemas de armado y con contenidos de fibras del 0%, 0.8% y 1.2% en volumen. Se concluye que sólo el porcentaje del 1.2% de fibras contribuye a mejorar apreciablemente la resistencia de la región y permite disminuir la armadura convencional de la unión. Para AMM sin fibras ni armaduras secundarias sobre el apoyo se indica que sólo son adecuados ratios entre el canto del apoyo y el canto de la viga (h/H) superiores o iguales a 0.5. Por lo que respecta a la fisuración, el mayor contenido en fibras ensayado reduce la abertura de fisura en servicio en el entorno del 20%-30% respecto a las piezas sin fibras; no obstante, las aberturas de fisura para el nivel de servicio³, incluso para el mayor contenido de fibras no son inferiores a 0.5 mm. El estudio no proporciona la resistencia residual aportada por las fibras, dificultando la construcción de modelos de cálculo para estos elementos.

³ En el estudio se considera el nivel de servicio como el 60% de la carga última estimada de las piezas, situándose en función de los ensayos entre un 40% y un 70% de la carga última experimental.

Mattock y Theryo publican en 1986 [42] un estudio sobre AMM en vigas pretensadas en T. Siguiendo la línea de las investigaciones previas dirigidas por Mattock [17], [38], [40] se ensayan un total de 12 apoyos sometidos a carga vertical y carga horizontal (véase Figura II.19.a) para simular el efecto de las fuerzas de retracción, fluencia y dilatación. Se analizan 5 esquemas de armado distintos con distintas pendientes del paramento que define el cambio de canto. Se indica que tanto el armado vertical como el inclinado son eficientes para resistir la carga vertical, pero se observa que la fisuración está mejor controlada en las piezas con armadura inclinada. En el caso en que al menos el 50% del pretensado se prolongue en la sección de apoyo el comportamiento frente a la fisuración en servicio es bastante bueno.

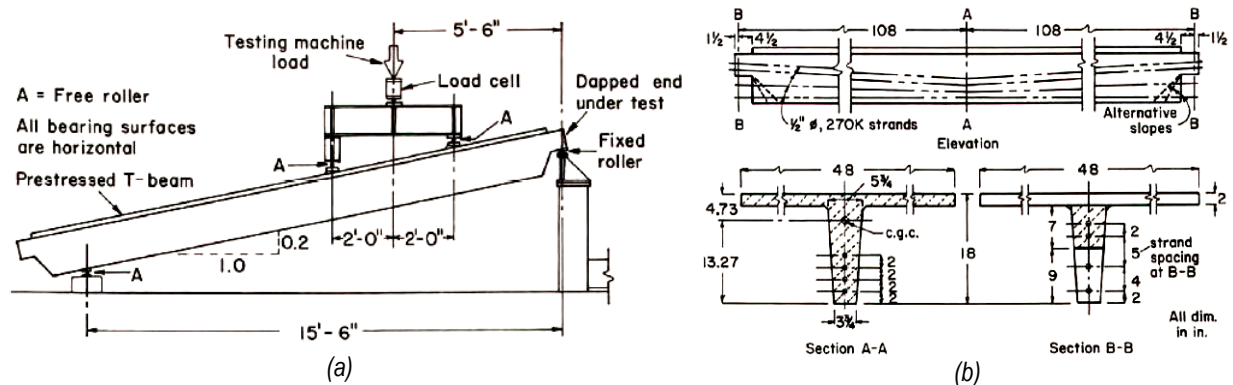


Figura II.19: AMM ensayados por Mattock y Theryo [42]: (a) Esquema de ensayo; (b) Geometría y armaduras activas

II.2.2 Validación del Método de las Bielas y Tirantes (1987-1999)

Entre 1987 y 1988 Cook y Mitchel [43], [44] publican resultados del ensayo de 4 AMM. La investigación no se centra exclusivamente en AMM, sino que engloba otras regiones de discontinuidad, comprobando la validez del MBT y proponiendo esquemas de bielas y tirantes para dichas regiones. Se valida también el uso en AMM de un programa de cálculo no lineal mediante elementos finitos con fisuración distribuida y consideración de “tension-stiffening” desarrollado por los autores. Se indica que en la cabeza de los estribos que componen el tirante vertical de los AMM se produce el desprendimiento del recubrimiento, recomendando en la comprobación de dicha zona nodal despreciar los recubrimientos.

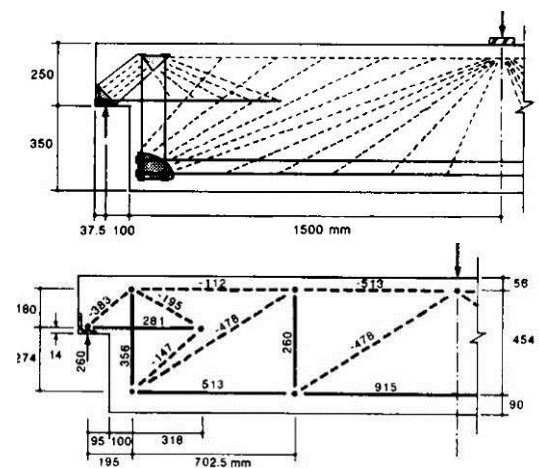


Figura II.20: Esquemas de bielas y tirantes propuestos por Cook y Mitchel [44]

Por su parte, Barton publica en 1988 [47] los resultados de un programa experimental de 4 AMM, centrado en comprobar la validez del MBT para este tipo de apoyos. La resistencia de las piezas es en todos los casos superior a la predicha por el MBT, la cual es similar a la de las formulaciones específicas de diseño de AMM empleadas hasta la época. Las piezas diseñadas basándose en el MBT tuvieron una rotura con elevada ductilidad.

Pese a publicarse en la época en que el MBT despertaba un gran interés, las investigaciones sobre AMM de Clark, entre 1987 y 1989 [45], [46], [48], no emplean dicha metodología. En la investigación de 1987-1988 de Clark y Thorogood [45], [46] se ensayan un total de 46 apoyos con la esquina biselada, en los que se varía la cuantía de armadura, la configuración de armado (armado ortogonal, inclinado y mixto) y el ratio entre la carga horizontal y la carga vertical. El estudio pretende caracterizar el comportamiento en servicio de los AMM y propone una metodología de cálculo para determinar la abertura de fisura, la cual se detalla posteriormente en el apartado II.3.1. Respecto a los resultados de fisuración se destaca el aumento de la abertura de fisura máxima cuando no se dispone armadura inclinada en las piezas. Por lo que respecta a la investigación de Clark et al. publicada en 1989 [48], éste no emplea el MBT, sino un procedimiento de diseño basado en la teoría de la plasticidad. El estudio está enfocado a comprobar un nuevo detalle constructivo para AMM en vigas en U para puentes.

Los ensayos de So en 1989 [49] estudian vigas en T pretensadas con armadura pretesa, diseñadas a partir del MBT. Se aplica carga vertical y horizontal independientemente a cada uno de los apoyos de 2 vigas, lo que da lugar a un total de 4 ensayos. Se verifica que el MBT es capaz también de estimar correctamente la rotura de este tipo de vigas. Se concluye que un AMM inclinado es más eficiente, al producirse una concentración de tensiones inferior en la esquina del apoyo.

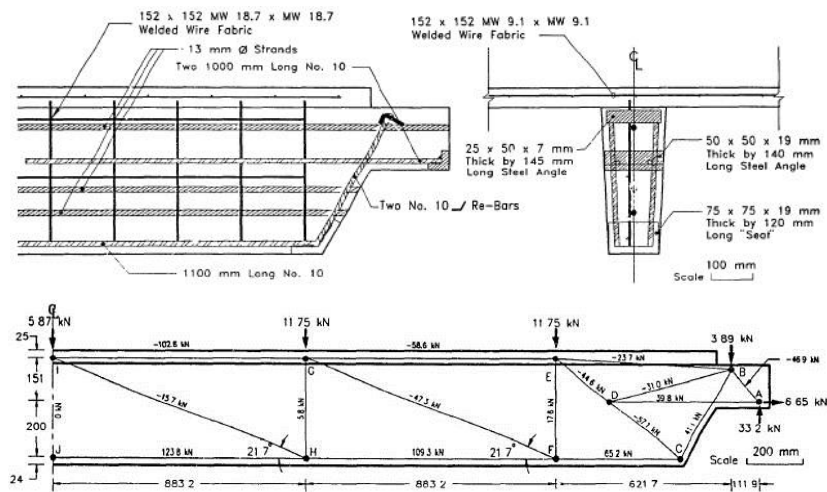
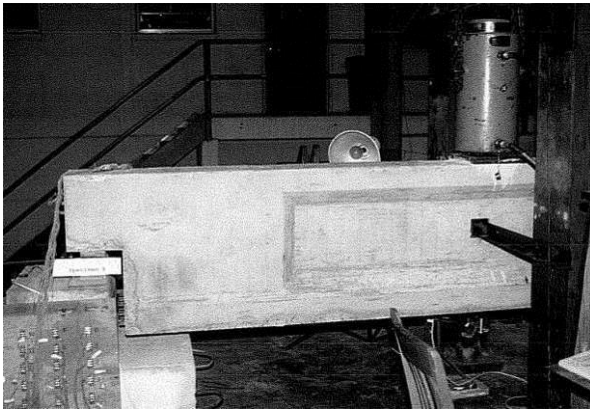
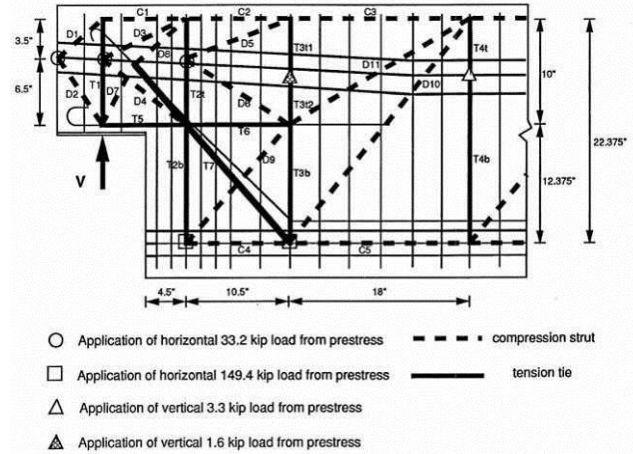


Figura II.21: Armado y esquema de bielas y tirantes propuesto por So [49] para vigas en T pretensadas con transición gradual del canto

La investigación de Mader de 1990 [50] analiza el comportamiento de 4 AMM de vigas en doble T pretensadas, diseñadas por el MBT, por el método del PCI y según las recomendaciones de Menon y Furlong [37]. Se observa que todos los métodos, salvo el del PCI, dieron lugar a diseños de apoyos que soportaron entre el 15% y el 20% por encima de la carga de diseño. Se propone un esquema (véase Figura II.22) para incorporar las fuerzas de pretensado a los esquemas de bielas y tirantes.



Fotografía II.2: Ensayo de AMM realizado por Mader [50]



- Application of horizontal 33.2 kip load from prestress
- Application of horizontal 149.4 kip load from prestress
- △ Application of vertical 3.3 kip load from prestress
- ▲ Application of vertical 1.6 kip load from prestress
- compression strut
- tension tie

Figura II.22: Esquema de bielas y tirantes propuesto por Mader [50] para vigas pretensadas con armado inclinado

Kumaraguru publicó en 1992 [33] los resultados de una serie de 12 ensayos de AMM realizados en la Universidad de Calgary bajo la dirección de Loov. Se analizaron vigas con distintos ratios del vano de cortante en relación al canto del apoyo (a/d , véase Figura II.10), tratando de determinar la precisión de distintos métodos de diseño de AMM, concretamente el MBT, el procedimiento de diseño del PCI y el *shear friction method*. De acuerdo a la formulación del MBT contenida en la norma canadiense CSA A23.3-84 [31], la resistencia del apoyo se reduce en caso de que la carga estuviese situada muy cerca de la sección de cambio de canto, ya que se limita la tensión de la misma al formar un ángulo muy bajo con el tirante vertical; este fenómeno contradice los resultados experimentales. Las tres metodologías analizadas dan buenos resultados, salvo el caso de la formulación del PCI que da resistencias del lado de la inseguridad en caso de que la rotura se produzca por flexión.

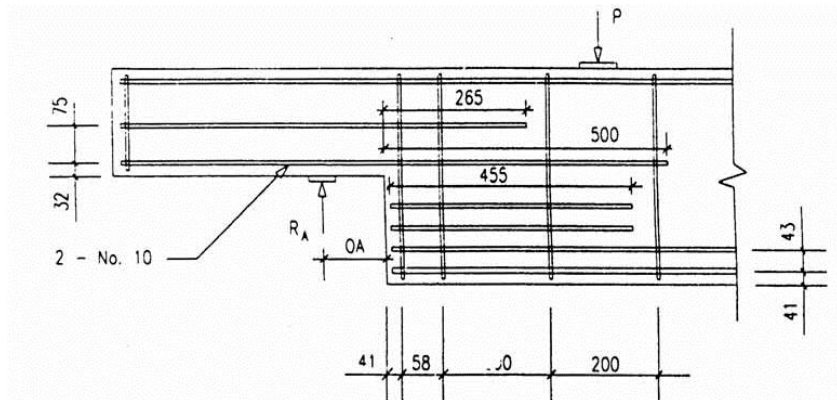


Figura II.23: Detalle del armado de los AMM ensayados por Kumaraguru [33]

Los estudios detallados en este apartado coinciden en contrastar la validez del método de bielas y tirantes para el diseño de los AMM. Otras metodologías más empíricas también se aproximan de manera adecuada al comportamiento de estas regiones, pero el MBT tiene la ventaja de ser una herramienta general que permite el diseño de regiones de discontinuidad en las que no existan dichas metodologías o sí existan pero la geometría se salga del rango en el que las metodologías se encuentren contrastadas.

II.2.3 Investigaciones recientes (desde 2000)

En 2003 se publican los estudios de Lu et al. y de Lin et al. [51], [52] llevados a cabo en la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología de Taiwan. En total se ensayan un total de 36 apoyos con la peculiaridad de emplear hormigones de alta resistencia (hasta 70 MPa). En el estudio se analiza la influencia en la resistencia de los apoyos de la resistencia del hormigón, de la cuantía de armadura y del ratio del vano de cortante en relación al canto del apoyo (a/d , véase Figura II.10); en todos los casos el armado propuesto es exclusivamente ortogonal. Se registran aumentos de la resistencia del orden del 20-30% en las piezas con hormigones de 70 MPa respecto a las piezas con hormigones de 30 MPa. Se corrobora, tal y como indican estudios previos, que, a igualdad de armado, la resistencia de los apoyos aumenta conforme disminuye el ratio a/d . Los autores proponen un procedimiento de cálculo basado en un modelo local de bielas y tirantes para la zona cercana al apoyo, con la superposición de dos mecanismos resistentes (véase Figura II.24); en dicho modelo no interviene el armado principal vertical, que se calcula independientemente para que resista como mínimo la carga vertical del apoyo. Se realiza una comparativa del procedimiento propuesto del PCI, concluyendo que este último queda muy del lado de la seguridad, especialmente en el caso de piezas de hormigón de alta resistencia.

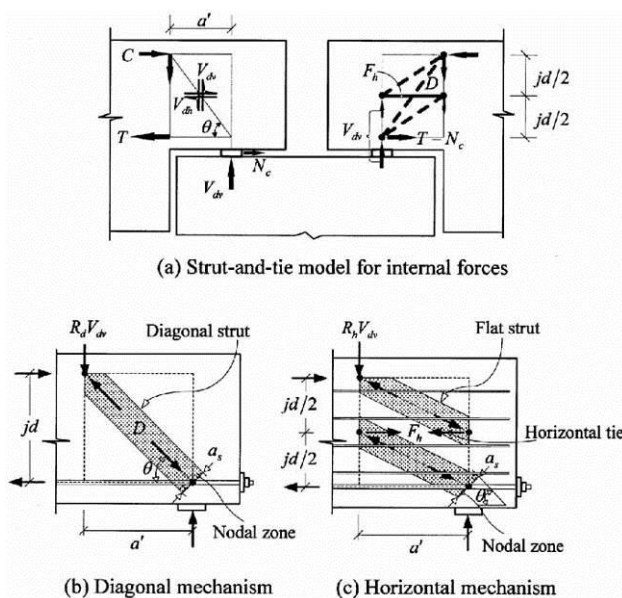
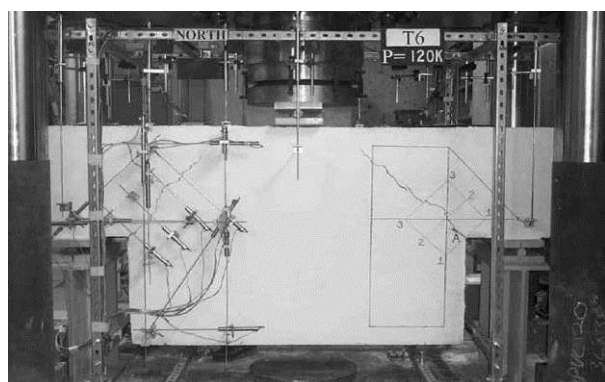


Figura II.24: Modelo de bielas y tirantes propuesto por Lu, Lin et al. [51], [52]



Fotografía II.3: Medida de fisuras. Ensayos de Zhu et al. [53]

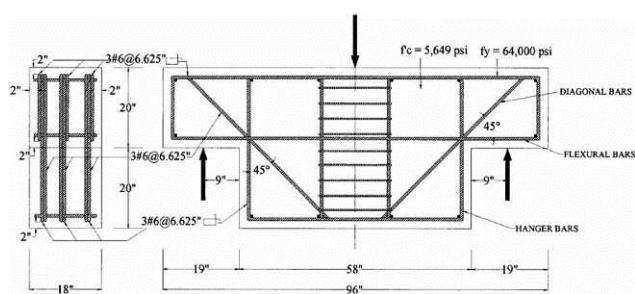


Figura II.25: Geometría y armado de la pieza T6 ensayada por Zhu et al. [53]

En el estudio presentado en 2003 por Zhu et al. [53] se ensayan un total de 7 vigas de sección rectangular sometidas a carga simétrica, con la peculiaridad de que analiza en detalle la fisuración que se produce en la esquina de los AMM. Las vigas ensayadas son muy rígidas, al tener un canto de 1.00 metros y una distancia entre apoyos de 2.00 metros (véase Figura II.25). Se ensayan vigas con y sin armado inclinado. El control continuo de las aberturas de fisura se realiza mediante un sistema de

transductores de desplazamiento potenciométricos dispuestos en las inmediaciones de la esquina del apoyo (véase Fotografía II.3). El estudio concluye que la armadura diagonal es claramente la más efectiva para el control de la fisuración. No se observa que la armadura secundaria horizontal reduzca la fisuración producida en servicio. El estudio propone un procedimiento (CASTM) para el cálculo de la abertura de fisura en la esquina para cargas de servicio, el cual se detalla posteriormente en el apartado II.3.2.

Taher publica en 2005 [54] los resultados de una investigación que estudia la eficacia de 12 tipos distintos de refuerzos a base de elementos metálicos o de fibra de carbono, dispuestos en las inmediaciones de los apoyos. Se ensayan un total de 52 tipos distintos de AMM, en los que se analiza la influencia de los distintos refuerzos en 4 esquemas de armado distintos, de los cuales 3 presentan fallos en el armado (véase Figura II.26). Se observa que el fallo de armado más crítico es que no se disponga la suficiente longitud de anclaje para el tirante principal horizontal; por lo que respecta a los métodos de refuerzo se indica que el refuerzo con materiales a base de fibra de carbono son los más adecuados para aumentar la resistencia y la ductilidad para reparaciones de estructuras existentes.

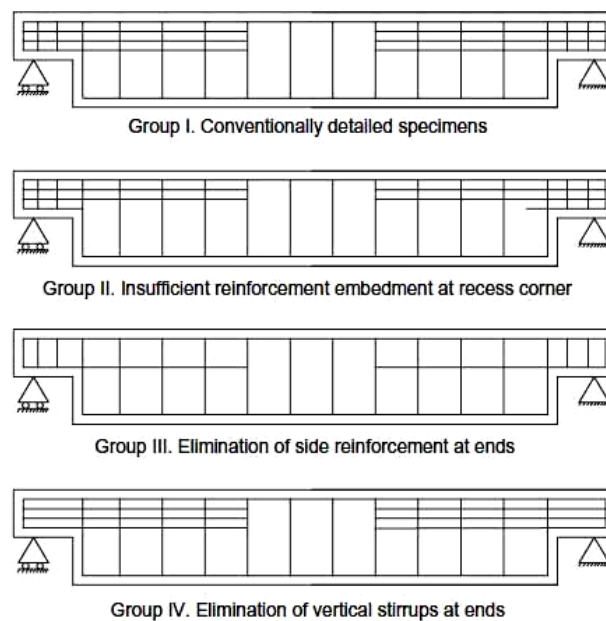


Figura II.26: Esquemas de armado de AMM ensayados por Taher [54]

Los ensayos de Wang et al. de 2005 [55] comprenden un total de 24 ensayos de AMM. Se analiza la influencia que tienen en el comportamiento de este tipo de apoyos la geometría y el tipo de armado (inclinado o no). Se indica que el ratio entre el canto del apoyo y el canto de la viga (h/H , véase Figura II.10) tiene una influencia muy relevante en la resistencia de los AMM y se sugiere que los apoyos tengan al menos un canto igual al 45% del canto total de la viga. Se aconseja además que el armado del tirante vertical se disponga lo más cercano posible a la sección de cambio de canto. También se propone una formulación semi-empírica para el cálculo de la resistencia de los AMM, obtenida a partir de los resultados de los ensayos experimentales.

En 2006 Huang y Nanni [56] publican los resultados de los ensayos de 5 AMM de vigas pretensadas con cordones de armadura pretesa. La tipología estructural ensayada es un forjado en π , con dos vigas de ancho variable unidas por una capa de compresión de 51 mm de espesor (véase Figura II.27.a). El estudio trata de comprobar el funcionamiento de un determinado esquema de armadura pasiva en el apoyo y del refuerzo mediante láminas de fibra de carbono (CFRP's). En los casos en los que se emplean una o dos láminas de CFRP en las inmediaciones del apoyo no se dispone armadura pasiva alguna, es decir, los refuerzos tienen la finalidad de sustituir la totalidad de la armadura pasiva; se diseña un sistema específico de anclaje de las láminas de CFRP que asegura que el fallo se produzca por la rotura de las fibras y no por la pérdida de adherencia de la lámina. Se concluye que el refuerzo de AMM con CFRP's resulta bastante adecuado, al aportar un aumento apreciable de la resistencia sin conllevar una reducción considerable de la ductilidad. Por tratarse de piezas con un elevado pretensado, la fisuración en la esquina del AMM comienza aproximadamente al 50% de la carga de rotura y las fisuras incluso en rotura tienen aberturas muy controladas, del orden de 0.40 mm.



Fotografía II.4: Vista de ensayos de Huang y Nanni [56]

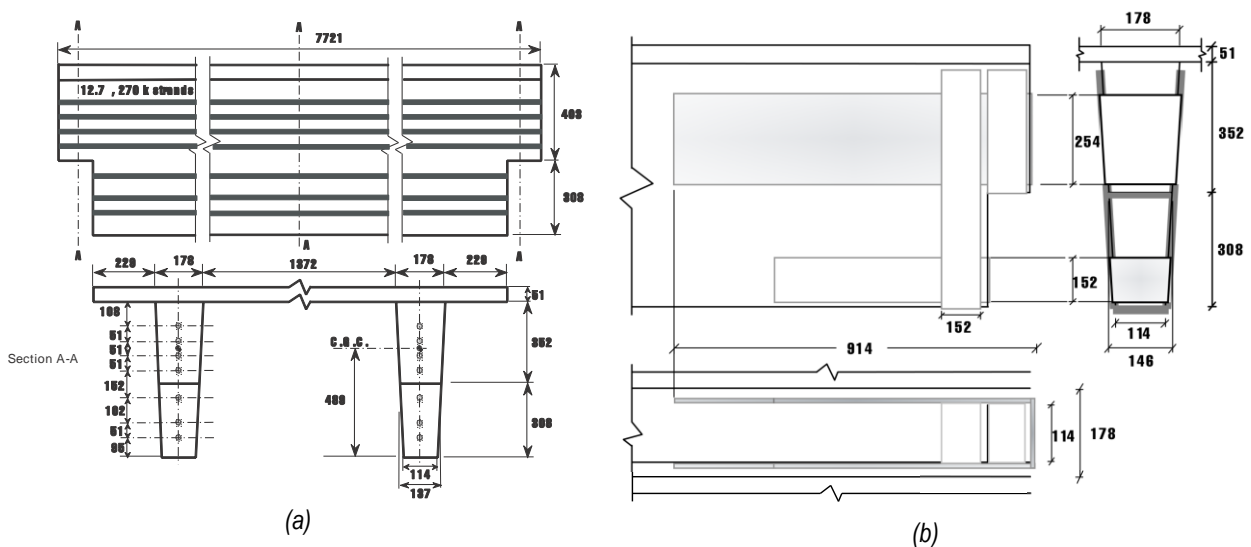


Figura II.27: AMM ensayados por Huang y Nanni [56]: (a) Geometría y detalle de armadura pasiva; (b) Esquema de refuerzo con CFRP's

A raíz del fallo del paso superior Concorde en Canadá en 2006 (véase Fotografía I.3 y Fotografía II.1), se desarrollaron en los años posteriores dos investigaciones de AMM en dicho país: el estudio de Herzinger realizado en la Universidad de Calgary y publicado en 2008 [4], [32], y el de Mitchell et al. llevado a cabo en la Universidad McGill y publicado en 2010 [57]. El estudio de Herzinger se centra en el comportamiento de AMM armados con barras con cabeza (*headed studs*); mediante este diseño se pretende reducir las longitudes de anclajes que a veces obligan a soldar barras a placas

metálicas exteriores. La carga se introduce con cierta inclinación para simular las fuerzas horizontales en los AMM debidas a fenómenos de retracción, fluencia o dilatación (véase Figura II.28). El diseño de las piezas se realiza mediante el MBT, analizándose también el fallo mediante el *shear friction method* y el *diagonal bending method*, analizando distintos planos inclinados y tomando el más desfavorable. Se concluye que el MBT es un método suficientemente conservador como para realizar el dimensionamiento, mientras que el análisis conjunto mediante el *shear friction method* y el *diagonal bending method* predice con precisión la resistencia de la pieza, el modo de fallo y la localización de la fisura crítica. Por lo que respecta al comportamiento de las barras con cabeza, se concluye que permiten solventar bien los anclajes, sin tener que recurrir a soldar barras a chapas o angulares dispuestos en la superficie del hormigón.

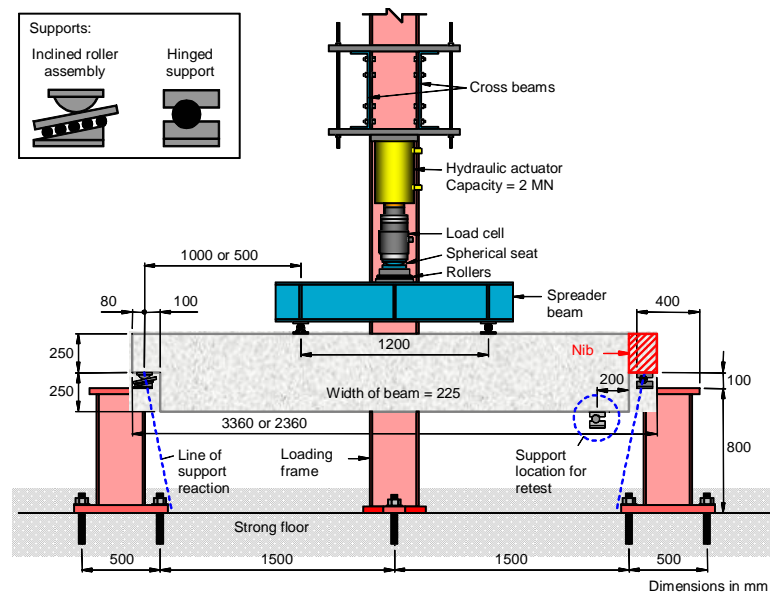


Figura II.28: Esquemas de ensayo de AMM de Herzinger [4], [32]

El trabajo de Mitchell et al. [57] aporta 4 nuevos ensayos centrados en el comportamiento en rotura de AMM de hormigón armado con armado ortogonal. Se analizan 4 detalles de armado propuestos en distintas versiones del PCI Design Handbook, cuya última versión se describe posteriormente en el apartado II.4.7. El estudio concluye que los detalles de anclaje de las armaduras y las formulaciones para determinar dichas armaduras son inseguros en las formulaciones de 1978 [65], 1985 [63] y 1992 [66], pero especialmente en su 1ª edición de 1971 [67], ya que un diseño con sus recomendaciones da lugar a una armadura de cuelgue insuficiente y con un anclaje claramente insuficiente tanto en su parte superior como en su parte inferior. Se remarca la gran importancia de emplear detalles de armado adecuados en regiones D.

Ya en 2012 Nagrodzca-Godycka et al. [58] publican los resultados de un ensayo sobre un total de 12 AMM (véase Figura II.29) en los que se analiza el efecto de la carga horizontal sobre distintos esquemas de armado con y sin armadura inclinada. En este estudio se analiza con detalle la fisuración de las piezas, pero no se aportan casi resultados para cargas de servicio. En cuanto al análisis respecto a la rotura se observa que duplicando la cuantía de armadura se producen aumentos de la carga última de sólo un 50%. La aplicación de una carga horizontal igual al 50% de la carga vertical conduce a una

reducción de la carga última del 25%. Se propone como método para determinar la carga última un sistema de fuerzas internas determinado en función de la inclinación de la fisura principal (véase Figura II.29.b). Por lo que respecta a la fisuración se concluye que la abertura de fisura se reduce aproximadamente un 20% en servicio por la presencia de armadura diagonal, mientras que la cuantía de armadura no influye significativamente en el proceso. En todos los casos las aberturas de fisura obtenidas en servicio fueron superiores a los límites máximos requeridos en las normativas por durabilidad.

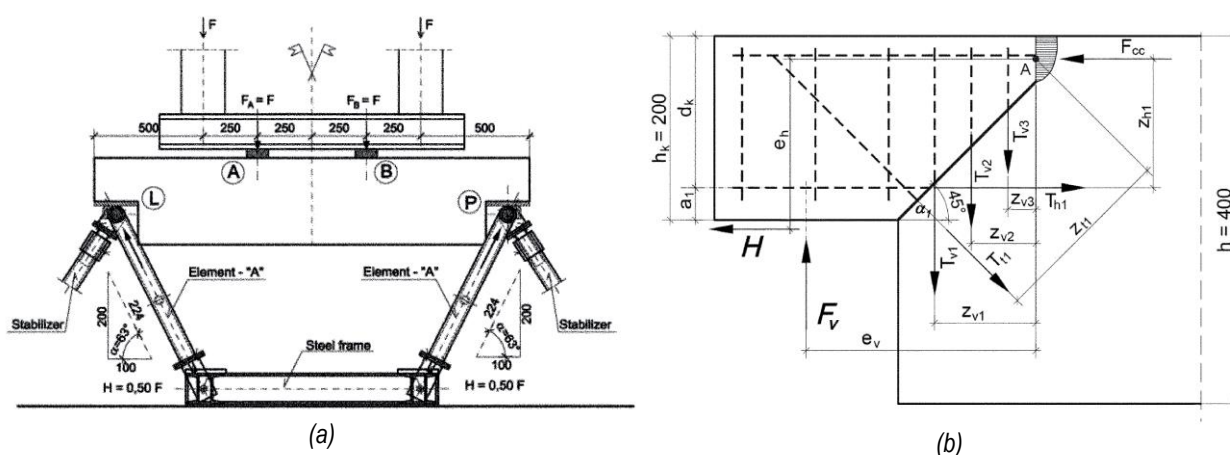


Figura II.29: Estudio de Nagrodzka-Godycka et al. [58]: (a) Esquema de ensayo; (b) Sistema de fuerzas internas para el cálculo de la carga última

El estudio de Nagy-György et al. publicado en 2012 [59] aborda el comportamiento de AMM de hormigón armado con armadura ortogonal distribuida, reforzados mediante láminas de fibra de carbono (CFRP's), centrándose muy específicamente en el comportamiento de los materiales de refuerzo. A partir de dichos resultados experimentales se realizó un estudio numérico del refuerzo de AMM con estos elementos por Sas et al. [68].

En 2013 se publica la contribución de Ahmad et al. [60] que ensaya un total de 4 AMM, para verificar el empleo del MBT para su diseño. Se destaca la influencia del ángulo de inclinación de la biela que parte del apoyo en la bondad de los resultados, quedando los resultados con una biela más vertical más del lado de la seguridad.

La aportación experimental más reciente encontrada sobre AMM es la de Moreno-Martínez y Meli [61]. El estudio analiza tanto el comportamiento en rotura como la fisuración de 4 modelos reducidos de los AMM dispuestos en viaductos superiores construidos en Ciudad de México. Se analiza el efecto de la armadura diagonal y el pretensado en piezas. Tanto la armadura de cuelgue como la armadura horizontal se disponen repartidas en toda la región D. Respecto a la rotura se recomiendan los modelos de Mattock [42] frente a los del PCI [64], por quedar estos últimos muy del lado de la seguridad, pese a predecir correctamente el modo de fallo. El nivel de servicio considerado (referenciado a la carga de diseño, que resultó ser del orden del 50% de la de rotura), resulta en una carga del orden del 20% de la de rotura, lo cual deriva en que las aberturas de fisura sean muy reducidas. Se remarca la importancia del pretensado en la reducción de la abertura. Pese a ensayarse piezas con bisel y sin él, no se indica conclusión alguna respecto a su funcionamiento.

II.3 Modelos para la estimación de la abertura de fisura

La principal conclusión que se puede extraer del análisis bibliográfico realizado en el apartado anterior es que sólo se han encontrado dos modelos para la estimación de la abertura de fisura producida en la esquina de los AMM (Clark y Thorogood [46] y Zhu et al. [53]). Se detallan a continuación las principales características de ambos procedimientos.

II.3.1 Modelo de Clark y Thorogood

Clark y Thorogood [46] proponen para el cálculo de la abertura de fisura en piezas con bisel un procedimiento que considera una relación lineal entre la abertura y la deformación máxima del hormigón en dirección perpendicular a la fisura (ε'). Ambos términos se relacionan mediante una longitud dependiente de si se produce fisuración distribuida en la pieza (véase Figura II.30.b) o fisuración concentrada en el bisel (véase Figura II.30.a). La longitud con la que finalmente se multiplicará ε' será la menor de las prescritas en ambos casos. Para determinar ε' , tal y como se expondrá posteriormente, se propone un modelo de cálculo lineal corregido, entre otros, por la contribución del hormigón en tracción; la contribución del hormigón hace que las aberturas de fisura no resulten finalmente linealmente dependientes con la carga aplicada.

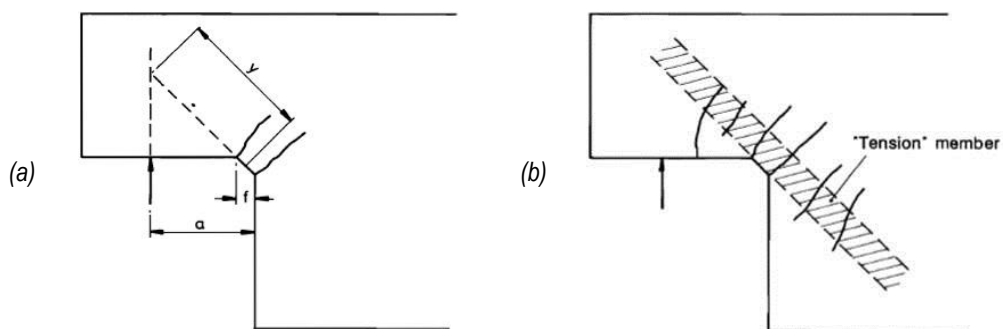


Figura II.30: Patrones de fisuración propuestos por Clark y Thorogood [46]: (a) Concentrada; (b) Distribuida

La fisuración distribuida (w_{dis}) resultará condicionante en el cálculo de la abertura de fisura para piezas de grandes dimensiones⁴. Para dicha fisuración los autores adaptan la metodología establecida por la normativa británica (BS5400-4:1984 [69]) para el cálculo de aberturas de fisura en tirantes a este caso concreto:

$$w_{dis} = 3 \cdot a_{cr} \cdot \varepsilon' \quad (II.8)$$

donde:

- a_{cr} distancia sobre la fisura desde su arranque hasta la barra más cercana
- ε' deformación máxima en dirección perpendicular a la fisura

⁴ Como posteriormente se analizará en el Capítulo VII, para piezas de dimensiones cercanas a las reales la distancia prescrita para la fisuración distribuida es inferior a la concentrada, pudiéndose concluir que para la mayoría de casos prácticos resultará de aplicación la formulación de fisuración distribuida.

Por lo que respecta al cálculo de la abertura de fisura en el caso de fisuración concentrada (w_{con}) se establece una formulación igual a una longitud “ y ” dependiente de la geometría de la pieza (distancia en dirección perpendicular a las fisuras entre la vertical del eje del apoyo y el extremo de las fisuras, véase Figura II.30.b) y la deformación máxima en dirección perpendicular a la fisura (ε'):

$$w_{con} = y \cdot \varepsilon' \quad (II.9)$$

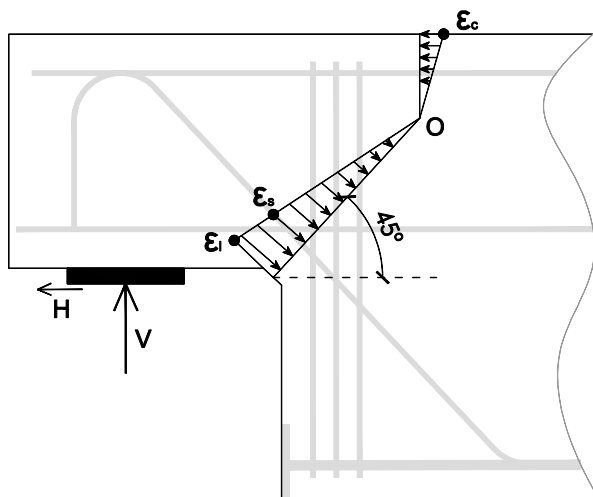


Figura II.31: Representación de deformaciones para el modelo elástico propuesto por Clark y Thorogood [46]

Para la determinación de la deformación ε' que interviene en el cálculo de la abertura de fisura los autores proponen realizar un cálculo elástico lineal en una determinada superficie considerando nula la contribución del hormigón asociada a las deformaciones de tracción. La superficie de cálculo está definida por una hipotética fisura generada a 45° que llega a una profundidad desconocida, tal y como se muestra en la Figura II.31. Las deformaciones, tanto de compresión como de tracción, se suponen proporcionales a su distancia respecto a la fibra neutra. En caso de existir componente horizontal de carga (H) es necesaria una resolución iterativa para determinar la profundidad de la fibra neutra que permite verificar tanto el equilibrio de fuerzas horizontales como el de momentos respecto al punto O . Como resultado de este cálculo se obtiene la deformación máxima de tracción del hormigón en la esquina (ε_l).

Los autores señalan que la distribución real de deformaciones en las piezas en el estado fisurado dista mucho de la suposición lineal realizada. Se produce una elevada concentración de deformaciones medias en el entorno de la esquina de las piezas, por lo que la deformación máxima en dirección perpendicular a la fisura (ε') es superior a la deformación máxima de tracción del hormigón en la esquina (ε_l) calculada con el modelo elástico lineal.

Se propone estimar el valor ε' que interviene en el cálculo de la abertura de fisura a partir de los resultados del modelo elástico lineal mediante la siguiente fórmula ajustada experimentalmente:

$$\varepsilon' = K_1 \cdot \varepsilon_l - \varepsilon_t \quad (II.10)$$

donde:

K_1 es un coeficiente amplificador dependiente del esquema de armado
 ε_t es una deformación que considera la contribución del hormigón

En base a los valores propuestos de K_1 (2.3 en caso de que haya armadura diagonal y 3.5 para otras disposiciones) se deriva que el método contempla la mayor efectividad de la armadura diagonal respecto a la coacción de la abertura de fisura.

La contribución del hormigón se considera mediante la siguiente formulación:

$$\varepsilon_t = \frac{0.3 \cdot 10^{-3} \cdot b \cdot h \cdot f_t}{E_s A_s \varepsilon_s} \quad (\text{II.11})$$

donde:

b ancho de la pieza
 h canto del AMM sobre el apoyo
 f_t módulo de rotura del hormigón - $f_t = 0.556 \cdot \sqrt{f_{ck, \text{cubete}}}$
 E_s módulo de elasticidad del acero
 A_s área de la armadura más cercana a la esquina de la pieza
 ε_s deformación perpendicular al plano supuesto de fisura, a la altura de la armadura más cercana a la esquina de la pieza (véase Figura II.31), obtenida mediante el modelo elástico lineal supuesto.

En la campaña experimental no se especifica claramente si las mediciones de aberturas de fisura se realizan en el borde de la pieza o a la altura de las armaduras. Por las características del modelo elástico propuesto, en el que se determina la deformación máxima en la esquina (ε_t), se infiere que la abertura de fisura obtenida por el modelo es la abertura de fisura máxima, es decir, en el borde de la pieza. Se considerará por tanto que en la campaña experimental se determinaron también dichas aberturas de fisura.

Una de las limitaciones de este método es que está planteado únicamente para piezas con bisel. La generalización del método al caso sin bisel es directa sin más que considerar la longitud 'y' que interviene para el caso de fisuración concentrada como el doble de la distancia anteriormente especificada (véase Figura II.30.b). Basándose en esta generalización se abordará posteriormente en el presente estudio (Capítulo VII) la aplicación del método tanto a elementos sin bisel como con bisel.

Por otra parte, cabe destacar que la metodología de cálculo para fisuración concentrada se ajusta con los resultados experimentales de piezas con geometrías idénticas; pese a ello se propone una abertura de fisura dependiente de la geometría de la pieza. Por último, la suposición de una inclinación de la fisura de 45° podría ser inadecuada en ciertas geometrías.

Este procedimiento de cálculo se encuentra prescrito por la Autoridad Nacional de Carreteras de Irlanda en el 3er volumen del 'Manual de Diseño de Carreteras y Puentes' [70], que aborda la inspección y el mantenimiento de estructuras.

II.3.2 Compatibility-aided strut-and-tie model (CASTM)

En el estudio de Zhu et al. [53] se propone la metodología CASTM para la determinación de aberturas de fisura en AMM. El método es aplicable tanto para esquemas de armado ortogonales como para esquemas de armado mixtos, con armadura ortogonal y diagonal. Se establece una formulación básica para determinar la abertura de fisura en el esquema resistente ortogonal como el producto de una longitud (L_{HV}) por una deformación diagonal (ε_{HV}):

$$w = L_{HV} \cdot \varepsilon_{HV} \quad (II.12)$$

La longitud (L_{HV}) se determina en función de la deformación diagonal (ε_{HV}) a partir de un ajuste lineal sobre los resultados experimentales del estudio (véase Figura II.32):

$$L_{HV} (mm) = 241000 \cdot \varepsilon_{HV} - 76 \quad (II.13)$$

Con la expresión (II.13) propuesta para L_{HV} , y dado que el modelo propuesto para el cálculo de la deformación diagonal es linealmente dependiente con la carga, la abertura de fisura resulta una función parabólica de la carga aplicada con ordenada en el origen negativa.

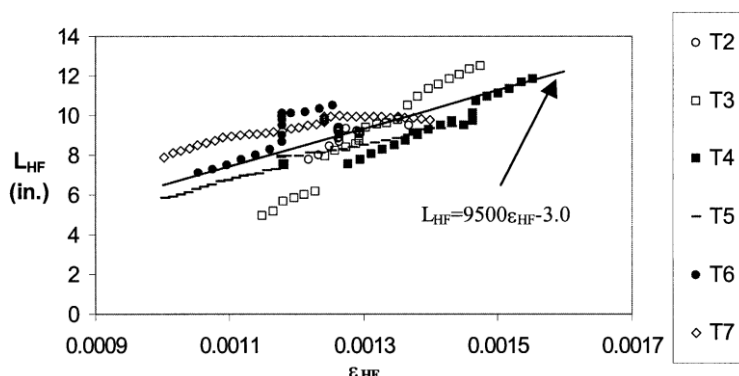


Figura II.32: Ajuste experimental para la longitud L_{HV} asociada al cálculo de la abertura de fisura extraído de Zhu et al. [53]

Por lo que respecta al cálculo de la deformación diagonal (ε_{HV}), ésta se determina a partir de las deformaciones de los tirantes ortogonales, el horizontal (ε_{sH}) y el vertical (ε_{sV}), mediante la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{HV} = \sqrt{\varepsilon_{sH}^2 + \varepsilon_{sV}^2} \rightarrow \begin{cases} \varepsilon_{sH} = \frac{(1-B)V \cdot \cot \theta_v}{E_s \cdot A_{sH} + E_{ct} \cdot A_{cH}} \\ \varepsilon_{sV} = \frac{(1-B)V}{E_s \cdot A_{sV} + E_{ct} \cdot A_{cV}} \end{cases} \quad (II.14)$$

donde:

- V es la carga vertical aplicada sobre el apoyo
- B es el ratio de la carga soportada por el esquema resistente diagonal
- θ_v es el ángulo de la biela diagonal que parte del apoyo (véase Figura II.34)
- E_s es el módulo de elasticidad del acero

- E_{ct} es el módulo de elasticidad en tracción del hormigón
- A_{cH} es el área de hormigón del tirante formado por la armadura horizontal
- A_{cV} es el área de hormigón del tirante formado por la armadura vertical

El área de los tirantes de hormigón se determina como la suma de las áreas de hormigón asociadas a cada una de las armaduras que componen el tirante. El área de hormigón asociada a cada una de las armaduras se determina a partir de las prescripciones de la Figura II.33.

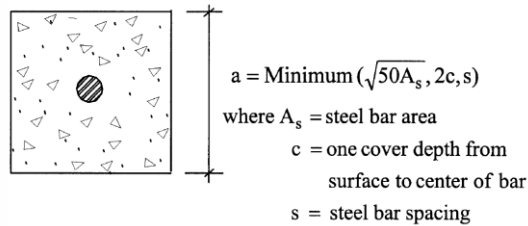


Figura II.33: Determinación de área de tirantes de hormigón (extraído de Zhu et al. [53])

Se propone la siguiente expresión del módulo de elasticidad en tracción del hormigón (E_{ct}), ajustada para el rango de cargas que el estudio considera como rango de servicio:

$$E_{ct} = 155\sqrt{f_{cm}} \text{ (MPa)} \quad (\text{II.15})$$

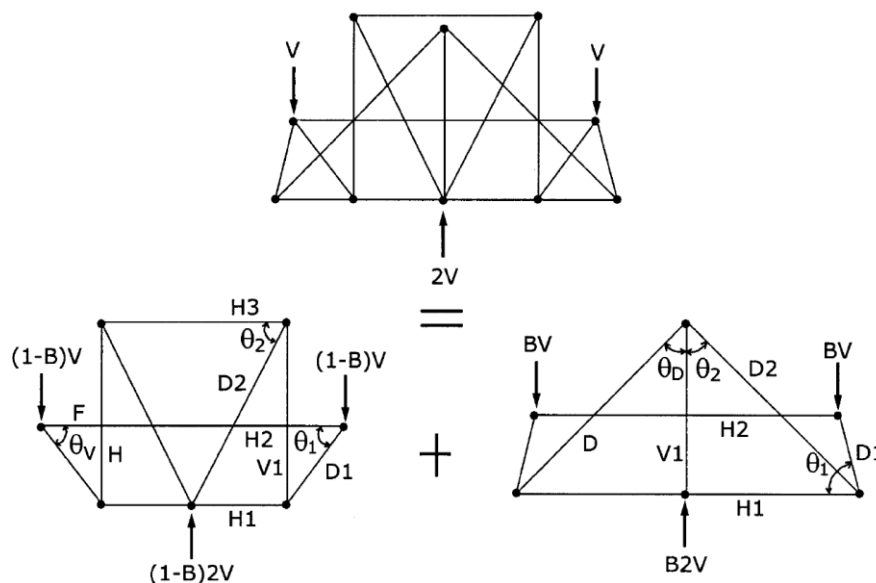


Figura II.34: Descomposición de esquemas resistentes propuesto por Zhu et al. [53] en caso de armado mixto

En caso de disponerse un esquema mixto, con armadura ortogonal y diagonal, la armadura diagonal interviene exclusivamente para determinar el coeficiente (B) de reparto de la carga total entre el esquema ortogonal y el diagonal (véase Figura II.34). Dicho reparto entre los dos esquemas se establece considerando la compatibilidad de desplazamientos entre ambos esquemas. Para ello, el estudio realiza un análisis aplicando el teorema de los trabajos virtuales, considerando la contribución a la rigidez del hormigón en tracción que permite determinar el reparto de carga entre los dos esquemas en función de su rigidez relativa. Como resultado de este análisis se propone la siguiente formulación

simplificada, en función de las áreas de las armaduras principales (vertical A_{sV} , horizontal A_{sH} y diagonal A_{sD}):

$$B = \frac{A_{sD}}{A_{sV} + 0.5 \cdot A_{sH} + A_{sD}} \quad (\text{II.16})$$

Cabe destacar que la metodología no resulta de aplicación para piezas con la esquina biselada. Las armaduras secundarias no aparecen en la formulación, pero dado que en el estudio experimental concluye que no tienen influencia alguna en el proceso, el procedimiento podría considerarse aplicable a piezas con armaduras secundarias⁵. En la campaña experimental las aberturas de fisura se obtienen a partir del promedio de tres transductores de desplazamiento situados a distintas distancias respecto del borde de la pieza. Pese a que no se detalla el estudio, se infiere que tanto las aberturas de fisura medidas como las estimadas por la formulación se corresponden con la abertura de fisura a la altura de las armaduras.

Como recapitulación de los métodos existentes para el cálculo de la abertura de fisura cabe indicar por una parte que no son aplicables a la totalidad de disposiciones constructivas habituales en AMM. Pese a que ambos modelos se fundamentan en parte en modelos físicos, acaban aplicando ajustes estadísticos para el cálculo de las variables fundamentales de dichos modelos. Dichos ajustes estadísticos se basan exclusivamente en los resultados experimentales propios de cada estudio. Sólo el estudio de Clark y Thorogood [46] contrasta su formulación con un número muy limitado de resultados experimentales de otros autores. Otro aspecto destacable es que al no quedar claro si las formulaciones estiman la abertura de fisura máxima (en el borde de la pieza) o la abertura de fisura a la altura de las armaduras, no pueden considerarse formulaciones homogéneas.

En base a todo ello puede concluirse que las formulaciones existentes para la estimación de las aberturas de fisura en AMM no están suficientemente contrastadas, derivándose la necesidad de profundizar en el estudio de la fisuración de los AMM. Ello motiva la inclusión de este aspecto en el presente trabajo.

II.4 Breve análisis del tratamiento normativo de los AMM

En este apartado se hace una revisión sobre la manera en que las normativas y códigos o manuales de referencia más relevantes a nivel internacional enfocan el diseño de los AMM. Como se verá a continuación, la mayoría de las normativas analizadas contemplan el diseño de estos elementos mediante el método de bielas y tirantes (MBT).

⁵ La implementación del procedimiento que se realizará en el Capítulo VII permite concluir que generalmente la aplicación del procedimiento a piezas con armaduras secundarias da lugar a sobreestimaciones de las aberturas de fisura.

II.4.1 EHE-08

Comenzando por la normativa española, la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) [2] en su capítulo XII sobre elementos estructurales trata en el artículo 64º de manera conjunta los AMM y las ménsulas cortas. Se hacen las siguientes indicaciones sobre los AMM: *“las soluciones de apoyo de este tipo son, en general, puntos conflictivos en donde se concentran problemas de fisuración y degradación del hormigón, por lo que se evitará su empleo siempre que sea posible”*. Pese a no prohibir de manera explícita su uso, lo desaconseja por sus problemas en servicio.

Indica que deberá tenerse en cuenta la operación de sustitución de los aparatos de apoyo como un estado de carga más. Por lo que respecta a su cálculo, especifica que deberá abordarse por el MBT por tratarse de una región de tipo D, ya que existe tanto una discontinuidad geométrica asociada a un cambio brusco de sección, como la presencia de la carga concentrada del apoyo. En los comentarios del articulado se proponen dos esquemas de bielas y tirantes para AMM (véase Figura II.35), tomados directamente del EC-2 [71]. Cabe destacar que en dichos esquemas la carga del apoyo tiene cierta componente horizontal pero no se establece ningún criterio para determinar su valor. La componente horizontal, debida a los posibles efectos de retracción, fluencia y dilatación de las piezas podría ir tanto hacia el interior como hacia el exterior de la pieza; en los esquemas propuestos está representada en la dirección más desfavorable para el elemento.

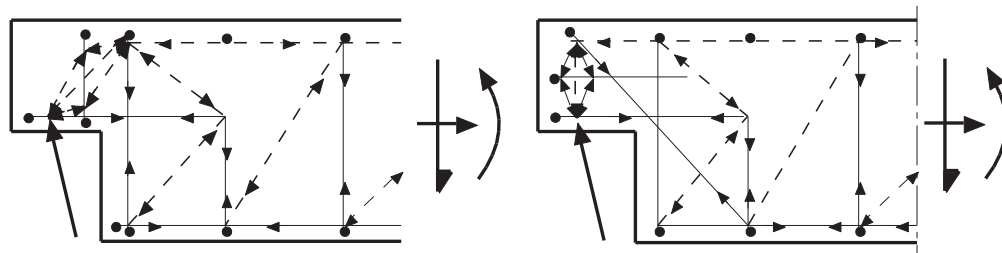


Figura II.35: Esquemas de bielas y tirantes propuestos en la EHE-08 [2] y tomados del EC-2 [71]

Como síntesis, según la EHE-08 [2] los AMM deberán calcularse por el MBT, no indicando ninguna prescripción específica. Dicho método se encuentra definido en el apartado 24.1.2 de la normativa y desarrollado en el artículo 40º, que aborda la capacidad resistente de bielas, tirantes y nudos.

II.4.2 Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1:2004)

El Eurocódigo 2 [71] aborda el proyecto de estructuras de hormigón. En el apartado 10.9.4.6 de la parte 1-1 se tratan de manera específica los AMM. En dicho apartado se indica que los AMM se podrán proyectar mediante MBT. Se proponen dos modelos de bielas y tirantes (véase Figura II.35), con disposiciones de armadura ortogonal e inclinada, los cuales se pueden combinar.

El cálculo con MBT viene detallado en el apartado 6.5 del EN 1992-1-1:2004 [71].

II.4.3 ACI 318-08

El código ACI 318-08 [30] no hace ninguna referencia específica sobre AMM. En los comentarios del apartado 1.1 se indica que el MBT es el procedimiento de diseño para las regiones cercanas a discontinuidades geométricas o cambios bruscos en las cargas. El MBT se detalla Apéndice A del código ACI 318-08 [30].

II.4.4 CSA A23.3-04

La normativa canadiense CSA A23.3-04 [31] que aborda el diseño de estructuras de hormigón tampoco contiene ninguna indicación específica sobre AMM. Para diseñar estos elementos según esta normativa sería de aplicación el MBT que se desarrolla en su apartado 11.4.

Dada la analogía existente entre las ménsulas cortas y los AMM, del apartado 11.6 que contiene indicaciones para ménsulas cortas puede extraerse un criterio para definir la carga horizontal mínima que será necesario aplicar en los AMM. En dicho apartado se indica que la fuerza externa horizontal de tracción que aparecerá en el apoyo del elemento no deberá ser inferior al 20% de la carga vertical salvo que se contemplen disposiciones específicas para evitar dichas cargas horizontales.

II.4.5 SIA 262:2013

La norma suiza de hormigón (SIA 262:2013 [14]) no establece ninguna prescripción específica sobre AMM. Al establecer como aplicables los métodos de cálculo fundamentados en la teoría de la plasticidad, se permite el diseño mediante campos de tensiones, detallados previamente en el apartado II.1.2.

II.4.6 Código Modelo 2010

Al igual que sucede con las normativas anteriores, el Código Modelo en su versión de 2010 [13] tampoco contiene ninguna indicación específica sobre AMM. Sería por tanto de aplicación para el diseño de estos elementos las indicaciones del apartado 7.3.6 sobre el diseño de elementos de discontinuidad con el método de los campos de tensiones y modelos de bielas y tirantes.

II.4.7 PCI Desing Handbook 7th edition

El Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) publica un manual de diseño [64] de aplicación a elementos de hormigón prefabricado, que contiene gran cantidad de ejemplos y disposiciones constructivas para detalles específicos. Dicho manual contiene un procedimiento específico para el diseño del armado de los AMM que viene detallado en su apartado 5.6.3.1. Cabe destacar que se trata de un método de diseño bastante contrastado y al que se hace referencia en bastantes de los estudios previamente citados en el apartado II.2. Según Barton [47] la metodología combina aspectos del *shear friction method* y del MBT. Como se indicaba en el apartado II.2.1, la metodología se basa en el estudio de Mattock y Chan de 1979 [18], y está presente en el PCI Design Handbook desde su 3ª edición de 1985 [63] y ha permanecido sin variaciones sustanciales hasta la edición actual del mismo que se detalla a continuación.

El procedimiento de diseño está basado en 5 mecanismos de rotura distintos definidos por las fisuras numeradas de la Figura II.36.

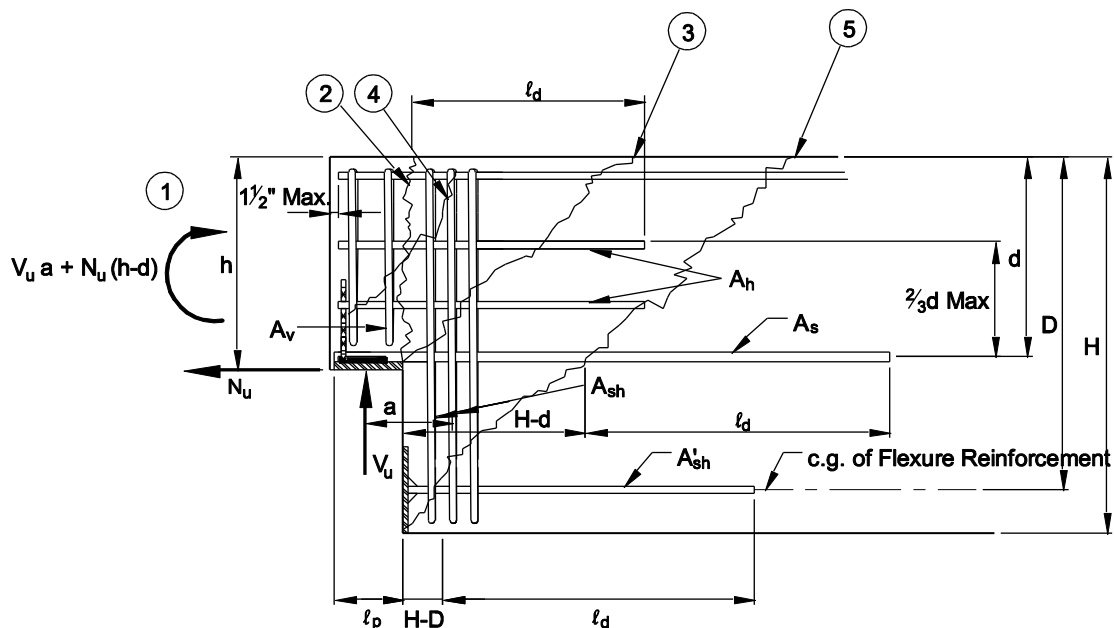


Figura II.36: Mecanismos de rotura y geometría especificada en PCI Design Handbook [64]

Para cada uno de los mecanismos de rotura anteriores se establece una determinada comprobación. Pasan a desarrollarse dichas comprobaciones:

1. Rotura por flexión y tracción en la zona apoyo. Requiere disponer armadura horizontal (A_s) para resistir dichos esfuerzos. El cálculo es similar al que se realiza en ménsulas cortas:

$$A_s = \frac{1}{\phi \cdot f_y} \left[V_u \left(\frac{a}{d} \right) + N_u \left(\frac{h}{d} \right) \right] \quad (\text{II.17})$$

donde:

ϕ toma el valor de 0.75

f_y es la resistencia de cálculo del acero

a, d, h parámetros geométricos (véase Figura II.36)

V_u carga vertical en el apoyo

N_u carga horizontal en el apoyo (tomar $0.2 \cdot V_u$ salvo cálculo específico)

2. Cortante directo desde la esquina. Es resistido por las armaduras horizontales sobre el apoyo (A_s y A_h):

$$A_s = \frac{2 \cdot V_u}{3 \cdot \phi \cdot f_y \cdot \mu_e} + A_h \quad (\text{II.18})$$

$$A_h = \frac{N_u}{\phi \cdot f_y} \quad (\text{II.19})$$

$$A_h = 0,5 \cdot (A_s - A_n) \quad (\text{II.20})$$

donde:

ϕ toma el valor de 0.75

$$\mu_e = \frac{\phi \cdot 1000 \cdot \lambda \cdot b \cdot h \cdot \mu}{V_u} \text{ limitado por los valores de la tabla 5.3.1 del PCI [64]}$$

λ es un factor reductor en caso de disponer hormigón ligero

μ es el coeficiente de fricción por cortante, véase tabla 5.3.1 del PCI [64]

3. Tracción diagonal desde la esquina. Para coser esta fisura es necesario disponer la armadura principal vertical (A_{sh}):

$$A_{sh} = \frac{V_u}{\phi \cdot f_y} \quad (\text{II.21})$$

4. Tracción diagonal sobre el apoyo. Para comprobar que este modo de fallo no es el determinante se verificará que la contribución del hormigón y de las armaduras secundarias sobre el apoyo (A_v y A_h) son superiores al esfuerzo:

$$\phi \left(A_v \cdot f_y + A_h \cdot f_y + 2 \cdot b \cdot d \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \right) \geq \phi V_u \quad (\text{II.22})$$

donde:

f_c' es la resistencia característica a compresión del hormigón

Al menos el 50% de la armadura necesaria para resistir este mecanismo debe ser dispuesta como armadura secundaria vertical sobre el apoyo (A_v):

$$A_v \geq \frac{1}{2 \cdot f_y} \left(\frac{V_u}{\phi} - 2 \cdot b \cdot d \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \right) \quad (\text{II.23})$$

5. Tracción diagonal desde la esquina del extremo inferior de la viga. Este mecanismo de rotura se verificará sin más que comprobar que la armadura principal horizontal (A_s) tiene una longitud suficiente como para desarrollar su longitud de anclaje a partir de esta fisura (fisura nº 5, véase Figura II.36)

Cabe destacar que este procedimiento no contempla la posibilidad de disponer armadura inclinada.

Capítulo III

Programa experimental

En el presente capítulo se describe el programa experimental llevado a cabo para el desarrollo de esta tesis, financiado mediante el proyecto de investigación BIA2009-11369 del Plan Estatal de Investigación del Gobierno de España. En primer lugar, en el apartado III.1, se describe la fase de diseño del programa de ensayos, definiéndose los parámetros a analizar en las distintas series ensayadas y los criterios de diseño empleados, detallándose además las características de las distintas piezas, el plan de trabajo seguido, así como los objetivos de cada una de las series. A continuación, en el apartado III.2 se estiman las cargas de rotura en base a modelos de bielas y tirantes preliminares. Seguidamente, en los apartados III.3 a III.6, se describe la fase de ejecución del programa experimental. En esta parte se detallan los materiales empleados para la ejecución de las piezas, las diferentes configuraciones de ensayo adoptadas y la instrumentación dispuesta; por último, se describen de manera sintética los pasos seguidos en el proceso de fabricación y ensayo de los especímenes.

III.1 Detalles de especímenes y plan de trabajo

En este apartado se definen los parámetros analizados, las características de las piezas que configuran la campaña experimental realizada en el presente trabajo, así como la justificación de dicho diseño. La campaña experimental comprende un total de 60 ensayos sobre AMM. Cabe destacar que se diseñaron un total de 30 AMM diferentes y cada viga se fabricó con dos AMM, uno en cada extremo, de idénticas características. Al fabricarse los dos AMM de cada viga con las mismas características se pudieron realizar un total de 2 ensayos de cada AMM diseñado, con la finalidad de poder comparar resultados entre ensayos con configuraciones idénticas.

III.1.1 Parámetros de estudio

Debido a la lógica limitación del número total de ensayos que es posible realizar ha sido necesario escoger adecuadamente las variables a analizar y los valores con los que definir las series de ensayos. Tras analizar la influencia e importancia de las distintas variantes de diseño posibles, en base a

la revisión bibliográfica descrita en el apartado II.2 y a las modelizaciones numéricas preliminares, se han considerado los siguientes parámetros para definir los AMM:

- Las dimensiones geométricas de los elementos (detalladas en la Figura III.1) se han considerado fijas en la experimentación dado que su influencia en el comportamiento de los AMM ya ha sido ampliamente estudiada. Se diseñan elementos tipo viga de 3.00 m de luz y sección 25x60 cm, que se reduce a 25x30 cm en los apoyos. Esta geometría genera una región D en la zona de apoyo independiente de la región D generada bajo la aplicación de la carga (véase Figura III.1). El cociente entre el canto del apoyo y el canto de la viga (h/H , véase Figura II.10) resulta igual a 0.5 y la relación de vano de cortante respecto a canto efectivo (a/d , véase Figura II.10) varía entre 0.96 y 1.12 dependiendo de la configuración de armado.

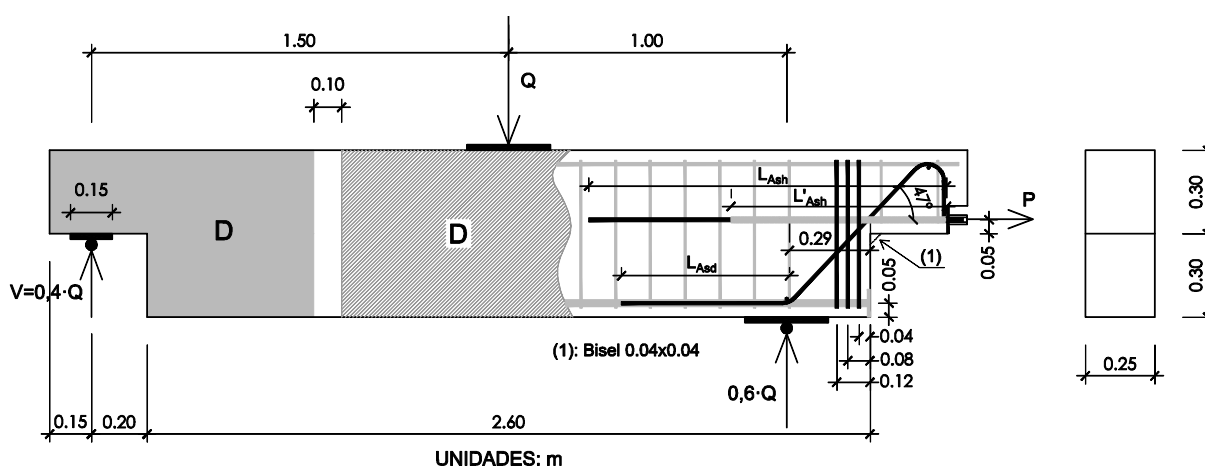


Figura III.1: Geometría, dimensiones y esquema de carga del ensayo

- Los recubrimientos mecánicos⁶ de las armaduras se consideran invariables para los diferentes ensayos. La codificación de las distintas armaduras se muestra en la Figura III.2.

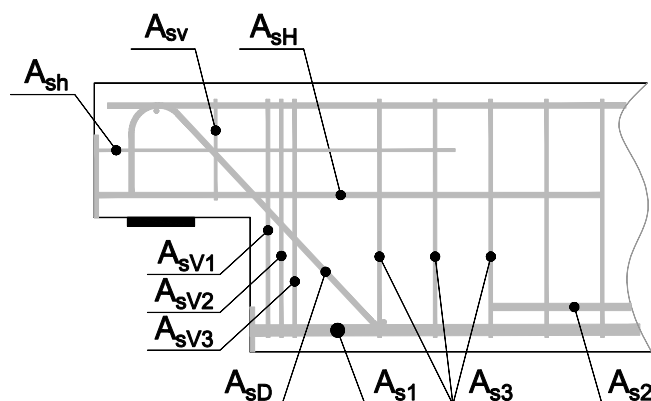


Figura III.2: Codificación de armaduras

Para el tirante principal horizontal (A_{sH}) y las armaduras inferior y superior de la viga se toma un recubrimiento de 5 cm. Para el tirante formado por la armadura de cuelgue se fija un recubrimiento mecánico de 4 cm para el primer plano de armadura (A_{sv1}). En las piezas en

⁶ Se define el recubrimiento mecánico como la distancia desde el c.d.g. de las armaduras al borde exterior más próximo.

que la armadura vertical (A_{sv}) se dispone en más de un plano, se toma una separación entre planos de armadura de 4 cm.

- **Cuantía de armado:** el efecto de la cuantía de armado se analiza, ensayando tres niveles distintos y manteniendo la configuración de armado. Se toma como referencia el armado del AMM de mayor cuantía. Se define como “factor de cuantía de armado” y se designa como “ p ” el porcentaje por el que se multiplican las áreas de las armaduras del AMM de referencia de la serie para obtener cualquier AMM de la misma serie. Para dar un orden de magnitud de las cuantías empleadas, en la Tabla III.1 se recoge la cuantía transversal (ρ_w) promediada en toda la viga para un determinado esquema de armado.

Tabla III.1: Cuantía transversal promediada para la configuración ortogonal de referencia (O.1)

Factor de cuantía de armado	ρ_w (%)
Cuantía alta – p100	5.5
Cuantía intermedia – p71	4.1
Cuantía baja – p49	2.7

- **Esquemas de armado.** Por lo que respecta a los esquemas o configuraciones de armado, se han dispuesto en la región del apoyo dos tipologías: AMM con armaduras exclusivamente ortogonales y AMM con armadura mixta que combinan armados inclinados y ortogonales. Se distinguen 3 diferentes esquemas ortogonales, el de referencia (O.1) cuya relación entre el área de la armadura vertical (A_{sv}) y horizontal (A_{sh}) es de aproximadamente 2/3, y dos con reducciones de alguna armadura respecto a éste: O.2 con una reducción de A_{sh} del 40% y O.3 con una reducción de A_{sv} del 60%. Las configuraciones de armado mixtas están compuestas por armaduras horizontales y verticales (esquema O.1), combinadas con diferentes proporciones de armadura diagonal. En la configuración D.1 la proyección vertical del área de la armadura diagonal ($A_{sd} \cdot \sin 47^\circ$) es aproximadamente un 40% de la suma del área de la armadura vertical y dicha proyección vertical. En las configuraciones D.2 y D.3 dichas proporciones son aproximadamente de 60% y 80% respectivamente. La serie de armados D.4 es una modificación del esquema D.3 que consiste en disponer una armadura A_{sh} mayor: 5.12 veces superior para D.4.1, 4.50 veces para D.4.2, 3.37 veces para D.4.3 y 2.25 veces para D.4.4.
- **Anclajes de armaduras.** Para asegurar que no se produce un fallo por anclaje ni de la armadura horizontal principal (A_{sh}) ni de la armadura inferior de la viga (A_{s1}), se disponen unas placas metálicas que transmiten la tracción de estas armaduras al hormigón en condiciones lejanas a la rotura. Por tanto, no se considera en esta experimentación el modo de rotura por fallo de dichos anclajes.
- Por lo que respecta al **tipo de hormigón**, todas las piezas se diseñan con hormigón convencional de resistencia característica a compresión (f_{ck}) de 30 MPa, a excepción de 3

especímenes que se diseñan considerando la mejora constructiva de emplear hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA).

- Variantes de diseño. Respecto al diseño estándar de las piezas se consideraron para su estudio una serie de variantes⁷ que podían mejorar el comportamiento en servicio o en rotura de los AMM y que se describen a continuación:
 - Biselado de la esquina (B): En 7 especímenes se dispone un bisel en la esquina de la pieza (de 4x4 cm) para favorecer la formación de dos fisuras en la esquina y estudiar si se reduce la abertura de fisura máxima.
 - Pretensado de la armadura horizontal (Ph): En 4 especímenes se realiza un pretensado no adherente de la armadura horizontal (A_{SH}) mediante barras roscadas aplicando un par de apriete mediante una llave dinamométrica. Se espera que el pretensado retrase la fisuración y reduzca la fisuración en servicio, al generar un estado de compresiones alrededor de la esquina de las piezas (véase Figura III.3).

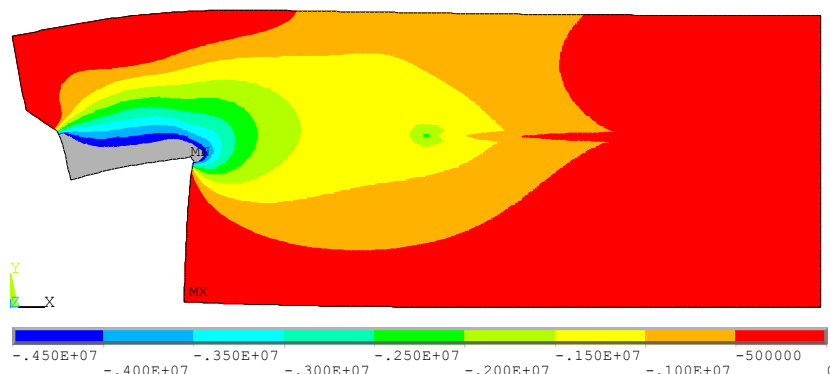


Figura III.3: Modelización elástica-lineal del nivel bajo del pretensado: diagrama de compresiones superiores a 4.5 MPa

- Empleo de HRFA (F#): 3 especímenes se fabrican con hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) para ver su efecto en la fisuración y en el comportamiento en rotura. Se emplean 40 kg/m³ de fibras (F40), 70 kg/m³ de fibras (F70) y 100 kg/m³ de fibras (F100), para analizar el efecto de distintas cantidades de fibras.
- Armadura secundaria (SR): Las recomendaciones de armado del PCI [64] así como de otros autores (véase apartado II.4.7) incluyen armaduras secundarias verticales (A_{SV}) y horizontales (A_{SH}) sobre el apoyo, además de las armaduras que configuran los tirantes principales (A_{SH} , A_{SV} , A_{SD}). El efecto de dichas armaduras sobre el comportamiento en servicio y rotura del AMM se analiza ensayando dos disposiciones de dichas armaduras: concentradas en un único plano (SR1) o distribuidas (SR2).

⁷ Entre paréntesis se indica para cada variante la denominación que se emplea para representar a dicha variante en la codificación de las piezas.

III.1.2 Codificación de especímenes

Para identificar los distintos parámetros que caracterizan a cada uno de los especímenes diseñados se emplea una codificación compuesta por 3 términos:

$$p/T.y/x \quad (III.1)$$

El primer término (p) representa el factor de cuantía de armado, el segundo ($T.y$) el esquema de armado y el último (x), en caso de existir, representa la o las variantes de diseños incluidas. El factor de cuantía de armado (p100, p71 o p49) fue convenientemente definido en el apartado anterior.

Por lo que respecta a la codificación empleada para el segundo término que representa el esquema de armado, comienza para los casos en que sólo se dispone armadura ortogonal con la letra "O", seguida de un número para listar las distintas configuraciones de armado posibles (O.1, O.2 y O.3). En aquellos especímenes en los que se dispone además armadura inclinada la codificación comienza por la letra "D", seguida en este caso por uno o dos números para identificar las distintas con configuraciones (D.1, D.2, D.3, D.4.1, D.4.2, D.4.3 and D.4.4).

En caso de disponerse un tercer término, éste identificará la o las variantes de diseño consideradas: "B" denota el biselado de la esquina, "Ph" el pretensado de la armadura horizontal, "F" el uso de HRFA (le sigue un número que indica la cantidad de fibras expresada en kg/m^3), "SR1" la disposición de armadura secundaria vertical y horizontal concentrada y "SR2" la disposición de armadura secundaria vertical y horizontal distribuida en dos planos.

III.1.3 Diseño y descripción de las piezas

La codificación empleada para designar a las distintas armaduras se mostró previamente en la Figura III.2. Cada espécimen se compone de armado en la región de discontinuidad (región D) y armado de viga; estos armados se encuentran convenientemente detallados en la Tabla III.2. Se dispone el mismo armado de la viga (A_{s1} , A_{s2} y A_{s3}) para todas las piezas de un determinado factor de cuantía de armado. Además de la Tabla III.2 descriptora de las armaduras de cada configuración, en la Tabla III.3 se muestran unos esquemas gráficos de las 30 configuraciones ensayadas; en estos esquemas el factor de cuantía de armado se simboliza con distintas intensidades de gris, mientras que para cada factor las distintas configuraciones de armado se representan a través de los grosores de las armaduras.

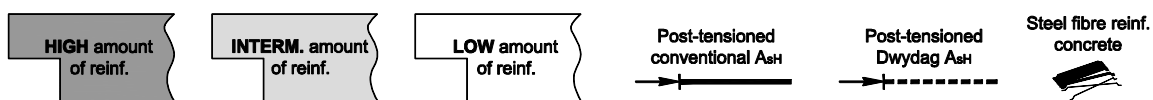
Los armados de los distintos especímenes que componen la campaña experimental se diseñan en base a unas configuraciones básicas, cuyos criterios de diseño se detallan en los siguientes apartados.

Tabla III.2: Detalles de armado

Espec.	Codificación	Armado de apoyo						Armado de viga			
		A _{sH} (mm ²)	A _{sV1} (mm ²)	A _{sV2} (mm ²)	A _{sV3} (mm ²)	A _{sD} (mm ²)	A _{sh} (mm ²)	A _{sv} (mm ²)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ² /m)
DEB-1.1	p49/O.1	5Φ10 (393)	2Φ10+2Φ8 (258)	-	-	-	-	-	4Φ20 (1257)	-	2Φ8/0.125 (808)
DEB-1.2	p49/O.2	3Φ10 (236)	2Φ10+2Φ8 (258)	-	-	-	-	-	4Φ20 (1257)	-	2Φ8/0.125 (808)
DEB-1.3	p49/O.3	5Φ10 (393)	2Φ8 (101)	-	-	-	-	-	4Φ20 (1257)	-	2Φ8/0.125 (808)
DEB-1.4	p49/O.1	5Φ10 (393)	2Φ8 (101)	2Φ6 (57)	2Φ8 (101)	-	-	-	4Φ20 (1257)	-	2Φ8/0.125 (808)
DEB-1.5	p49/O.2	3Φ10 (236)	2Φ8 (101)	2Φ6 (57)	2Φ8 (101)	-	-	-	4Φ20 (1257)	-	2Φ8/0.125 (808)
DEB-1.6	p100/O.1	4Φ16 (804)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-1.7	p100/O.2	4Φ12 (452)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-1.8	p71/O.1	5Φ12 (565)	2Φ10 (157)	2Φ6 (57)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	-	2Φ8+2Φ6/0.125 (1256)
DEB-1.9	p71/O.2	3Φ12 (339)	2Φ10 (157)	2Φ6 (57)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	-	2Φ8+2Φ6/0.125 (1256)
DEB-2.1	p49/D.1	3Φ10 (236)	3Φ8 (151)	-	-	2Φ10 (157)	-	-	4Φ20 (1257)	-	2Φ8/0.125 (808)
DEB-2.2	p100/D.1	4Φ12 (452)	4Φ10 (314)	-	-	2Φ12+1Φ10 (305)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-2.3	p71/D.1	3Φ12 (339)	2Φ12 (226)	-	-	2Φ12 (226)	-	-	4Φ25 (1963)	-	2Φ8+2Φ6/0.125 (1256)
DEB-2.4	p100/D.2	4Φ10 (314)	2Φ12 (226)	-	-	2Φ12+1Φ16 (427)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-2.5	p100/D.3	2Φ8+2Φ6 (157)	2Φ8 (101)	-	-	2Φ16+1Φ12 (515)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-2.6	p100/D.4.1	4Φ16 (804)	2Φ8 (101)	-	-	2Φ16+1Φ12 (515)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.1	p100/D.2/B	4Φ10 (314)	2Φ12 (226)	-	-	2Φ12+1Φ16 (427)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.2	p100/D.3/B	2Φ8+2Φ6 (157)	2Φ8 (101)	-	-	2Φ16+1Φ12 (515)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.3	p100/D.4.1/Ph	4Φ16 (804)	2Φ8 (101)	-	-	2Φ16+1Φ12 (515)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.4	p100/O.1/B	4Φ16 (804)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.5	p100/D.1/B	4Φ12 (452)	4Φ10 (314)	-	-	2Φ12+1Φ10 (305)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.6	p71/O.1/B	5Φ12 (565)	2Φ10 (157)	2Φ6 (57)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	-	2Φ8+2Φ6/0.125 (1256)
DEB-3.7	p100/O.1/F40	4Φ16 (804)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.8	p100/O.1/F70	4Φ16 (804)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.9	p100/O.1/F100	4Φ16 (804)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.10	p100/D.4.4/Ph	2Φ15 (353)	2Φ8 (101)	-	-	2Φ16+1Φ12 (515)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.11	p100/D.4.3/Ph	3Φ15 (530)	2Φ8 (101)	-	-	2Φ16+1Φ12 (515)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-3.12	p100/D.4.2/Ph	4Φ15 (707)	2Φ8 (101)	-	-	2Φ16+1Φ12 (515)	-	-	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-4.1	p100/O.1/B+SR1	4Φ16 (804)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	4Φ10 (314)	4Φ10 (314)	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-4.2	p100/O.1/B+SR2	4Φ16 (804)	2Φ10 (157)	2Φ12 (226)	2Φ10 (157)	-	4Φ10 (314)	4Φ10 (314)	4Φ25 (1963)	4Φ16 (804)	4Φ8/0.125 (1608)
DEB-4.3	p71/O.1/B+SR1	5Φ12 (565)	2Φ10 (157)	2Φ6 (57)	2Φ10 (157)	-	4Φ8 (202)	4Φ8 (202)	4Φ25 (1963)	-	2Φ8+2Φ6/0.125 (1256)

Tabla III.3: Esquemas gráficos de los especímenes

Especímen (Codific.)	Esquema gráfico	Especímen (Codific.)	Esquema gráfico	Especímen (Codific.)	Esquema gráfico
DEB-1.1 (p49/O.1)		DEB-2.2 (p100/D.1)		DEB-3.6 (p71/O.1/B)	
DEB-1.2 (p49/O.2)		DEB-2.3 (p71/D.1)		DEB-3.7 (p100/O.1/F40)	
DEB-1.3 (p49/O.3)		DEB-2.4 (p100/D.2)		DEB-3.8 (p100/O.1/F70)	
DEB-1.4 (p49/O.1)		DEB-2.5 (p100/D.3)		DEB-3.9 (p100/O.1/F100)	
DEB-1.5 (p49/O.2)		DEB-2.6 (p100/D.4.1)		DEB-3.10 (p100/D.4.4/Ph)	
DEB-1.6 (p100/O.1)		DEB-3.1 (p100/D.2/B)		DEB-3.11 (p100/D.4.3/Ph)	
DEB-1.7 (p100/O.2)		DEB-3.2 (p100/D.3/B)		DEB-3.12 (p100/D.4.2/Ph)	
DEB-1.8 (p71/O.1)		DEB-3.3 (p100/D.4.1/Ph)		DEB-4.1 (p100/O.1/B+SR1)	
DEB-1.9 (p71/O.2)		DEB-3.4 (p100/O.1/B)		DEB-4.2 (p100/O.1/B+SR2)	
DEB-2.1 (p49/D.1)		DEB-3.5 (p100/D.1/B)		DEB-4.3 (p71/O.1/B+SR1)	



Notas:

(1) La geometría de las piezas y las secciones de las armaduras representan las diferencias entre las distintas piezas, no encontrándose a escala.

III.1.3.1 Configuración básica ortogonal

La configuración de referencia ortogonal que sirve para definir el armado ortogonal de los distintos elementos se diseña para evitar la formación de la biela 2-4 (véase Figura III.4) o, lo que es lo mismo, para que el tirante vertical alcance en la rotura la misma carga que la reacción de apoyo. La posición de la biela horizontal superior o cordón comprimido en su apoyo en el nudo 2 ($z=0.186$ m) se determina despreciando la contribución del recubrimiento superior de hormigón, tal y como apuntan Cook y Mitchel [43], [44].

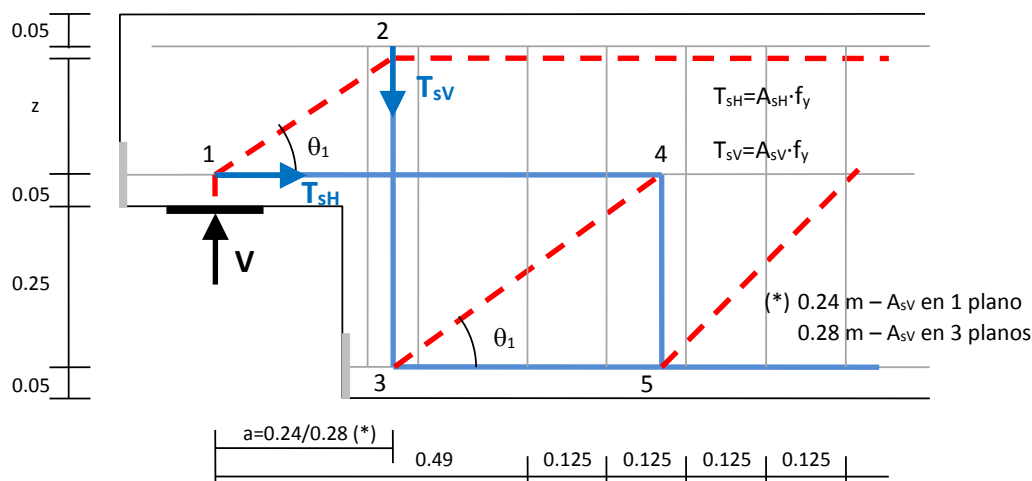


Figura III.4: Modelo de bielas y tirantes considerado para el diseño del esquema de armado ortogonal de referencia (O.1)

Concebido el diseño en base a las indicaciones anteriores y estableciendo la carga de diseño (V) en 300 kN, el área necesaria para la armadura vertical suponiendo un límite elástico de 550 MPa es de $A_{sV,0}=540 \text{ mm}^2$. La mínima armadura horizontal del AMM (A_{sH0}) que se requiere para poder alcanzar la carga de diseño corresponde al considerar el mayor ángulo (θ_1) que puede alcanzar la biela diagonal 1-2 y que viene determinado por la capacidad de concentración de las compresiones en el nudo 2, es decir, con el brazo máximo $z=0.186 \text{ m}$. Así, la relación entre el área de la armadura del tirante vertical ($A_{sV,0}$) y la del tirante horizontal ($A_{sH,0}$) debe ser igual a a/z para que ambos tirantes estén plastificados cuando se alcance la carga máxima. Esta relación es de 0.66, en caso de disponer el tirante vertical distribuido en 3 planos de armaduras ($a=0.28 \text{ m}$) y, por consiguiente, el área de armadura principal horizontal de referencia A_{sH0} es de 804 mm^2 . Las áreas de referencia de las armaduras ($A_{sH,0}=804 \text{ mm}^2$, $A_{sV,0}=540 \text{ mm}^2$), se corresponden con el espécimen DEB-1.6, cuya codificación es p100/O.1.

III.1.3.2 Configuración básica diagonal

Para el diseño de las piezas con armadura ortogonal y diagonal se emplea la configuración básica de armado definida en el apartado anterior (correspondiente a la pieza DEB-1.6) y una configuración básica teórica con únicamente armadura diagonal ($A_{sD,0}$). La configuración básica diagonal se diseña bajo las mismas premisas que la configuración básica ortogonal y con el objetivo de que tenga la carga vertical de diseño que aquél. El esquema de bielas y tirantes considerado se muestra en la Figura III.5.

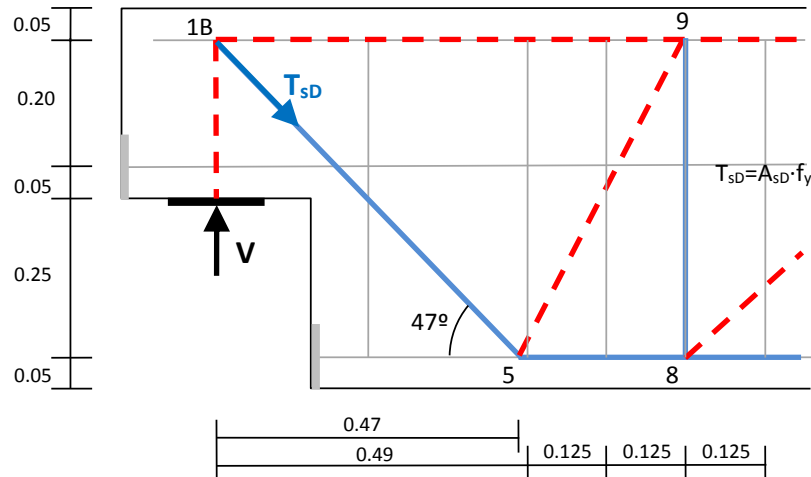


Figura III.5: Modelo de bielas y tirantes considerado para el esquema resistente diagonal

La configuración básica diagonal se corresponde con un área del tirante diagonal ($A_{sD,0}$) de 738 mm². Esta configuración no se corresponde con ningún espécimen de la campaña experimental, ya que todas las alternativas planteadas con armadura diagonal contemplan su combinación con armadura ortogonal.

III.1.3.3 Configuración básica con armadura secundaria

Las armaduras verticales (A_{sv}) y horizontales (A_{sh}) dispuestas sobre el apoyo además de las armaduras principales, véase Figura III.2, se denominan en lo sucesivo armaduras secundarias. El diseño de estas armaduras se realiza partiendo de la configuración básica ortogonal, siguiendo las recomendaciones establecidas por el PCI [64], que se sintetizaron previamente en el apartado II.4.7.

En base a estas consideraciones se determina que A_{sv} debe ser idéntica a A_{sh} y tomar un valor de al menos 302 mm² para las piezas con el mayor factor de cuantía de armado ($\rho/100$). Se toma este valor mínimo como valor de referencia para el diseño de las piezas. A partir del valor anterior que define la configuración básica con armadura secundaria ($A_{sh,0}=A_{sv,0}=302$ mm²), válida para el factor de cuantía de armado $\rho/100$, se extrapolan los resultados para otros factores de cuantía de armado y se ajustan a la configuración de armaduras más cercana.

El armado en el apoyo de las piezas ($A_{sh,i}$, $A_{sv,i}$, $A_{sD,i}$, $A_{sh,i}$, $A_{sv,i}$) para cada una de las configuraciones y cuantías de armado se establece multiplicando las áreas de las configuraciones básicas anteriores por el factor de cuantía de armado ($\rho/100$) y los factores α , β y γ para las armaduras horizontal, vertical y diagonal respectivamente ($A_{sh,i}=\alpha \cdot \rho/100 \cdot A_{sh,0}$, $A_{sv,i}=\beta \cdot \rho/100 \cdot A_{sv,0}$, $A_{sD,i}=\gamma \cdot \rho/100 \cdot A_{sD,0}$). En la Tabla III.4 se muestran los factores que definen los distintos esquemas de armado. En el caso de disponerse armadura secundaria en el apoyo ($A_{sh,i}$, $A_{sv,i}$), los armados se establecen multiplicando el factor de cuantía de armado por la armadura definida en la configuración básica ($A_{sh,i}=\rho/100 \cdot A_{sh,0}$, $A_{sv,i}=\rho/100 \cdot A_{sv,0}$).

Tabla III.4: Definición de esquemas de armado

Esquema de armado	α	β	γ
O.1	1.00	1.00	0.00
O.2	0.60	1.00	0.00
O.3	1.00	0.40	0.00
D.1	0.58	0.58	0.43
D.2	0.40	0.40	0.58
D.3	0.20	0.20	0.70
D.4.1	1.00	0.20	0.70
D.4.2	0.88	0.20	0.70
D.4.3	0.66	0.20	0.70
D.4.4	0.44	0.20	0.70

Por lo que respecta a las configuraciones de armado con armadura diagonal, cabe destacar que mientras que D.1 y D.2 tienen una combinación entre los mecanismos ortogonal y diagonal que suman aproximadamente la misma capacidad resistente que la de la configuración básica ortogonal, la configuración D.3 suma tan sólo el 90% de ella.

El armado queda completamente definido al especificar la longitud de la armadura horizontal (L_{Ash} según la Figura III.1) y la longitud del tramo horizontal de la armadura diagonal (L_{Asd} según la Figura III.1). L_{Ash} se establece, con la excepción de los especímenes con armadura pretensada, en función del factor de cuantía de armado: 125 cm para especímenes p100, 113 para p71 y 100 para p49. Para los especímenes pretensados L_{Ash} se ha tomado un valor de 120 cm para la configuración D.4.1 y de 153 para el resto. Parte la longitud L_{Ash} se dispone entubada (L'_{Ash} según la Figura III.1) para evitar la adherencia acero-hormigón, para retrasar la fisuración en la esquina cuando se aplique el pretensado. Esta longitud sin fricción (L'_{Ash}) es en todos los casos de 78 cm. Por lo que respecta a la longitud del tramo horizontal de la armadura diagonal (L_{Asd}), también varía en función del factor de cuantía de armado: 60 cm para especímenes p100, 47 para p71 y 35 para especímenes p49.

III.1.4 Plan de trabajo

La campaña experimental se divide en 5 series distintas. Cada una de las series está formada por un total de 6 vigas. Tras ensayar cada una de las series se analizan los resultados obtenidos, permitiendo utilizar la información obtenida con la serie anterior para el diseño de la siguiente serie. En la Tabla III.5 se muestran las piezas que componen las distintas series, así como las fechas de hormigonado y ensayo.

Tabla III.5: Calendario del programa experimental

Espec.	Codificación	Serie	Fecha de fabricación	Fecha de ensayo (T1)	Edad (días)	Fecha de ensayo (T2)	Edad (días)
DEB-1.1	p49/O.1	1	16/06/2010	15/07/2010	29	-	-
DEB-1.2	p49/O.2	1	16/06/2010	19/07/2010	33	20/07/2010	34
DEB-1.3	p49/O.3	1	16/06/2010	22/07/2010	36	22/07/2010	36
DEB-1.4	p49/O.1	1	16/06/2010	23/07/2010	37	26/07/2010	40
DEB-1.5	p49/O.2	1	16/06/2010	27/07/2010	41	-	-
DEB-2.1	p49/D.1	1	16/06/2010	28/07/2010	42	29/07/2010	43
DEB-1.6	p100/O.1	2	29/10/2010	19/11/2010	21	19/11/2010	21
DEB-1.7	p100/O.2	2	29/10/2010	26/11/2010	28	26/11/2010	28
DEB-2.2	p100/D.1	2	29/10/2010	21/12/2010	53	22/12/2010	54
DEB-1.8	p71/O.1	2	29/10/2010	01/12/2010	33	01/12/2010	33
DEB-1.9	p71/O.2	2	29/10/2010	03/12/2010	35	03/12/2010	35
DEB-2.3	p71/D.1	2	29/10/2010	16/12/2010	48	17/12/2010	49
DEB-2.4	p100/D.2	3	10/03/2011	04/04/2011	25	05/04/2011	26
DEB-3.1	p100/D.2/B	3	10/03/2011	31/03/2011	21	01/04/2011	22
DEB-2.5	p100/D.3	3	10/03/2011	06/04/2011	27	07/04/2011	28
DEB-3.2	p100/D.3/B	3	10/03/2011	11/04/2011	32	13/04/2011	34
DEB-2.6	p100/D.4.1	3	10/03/2011	14/04/2011	35	18/04/2011	39
DEB-3.3	p100/D.4.1/Ph	3	10/03/2011	19/04/2011	40	20/04/2011	41
DEB-3.4	p100/O.1/B	4	02/12/2011	27/12/2011	25	27/12/2011	25
DEB-4.1	p100/O.1/B+SR1	4	02/12/2011	29/12/2011	27	29/12/2011	27
DEB-4.2	p100/O.1/B+SR2	4	02/12/2011	05/01/2012	34	09/01/2012	38
DEB-3.5	p100/D.1/B	4	02/12/2011	11/01/2012	40	11/01/2012	40
DEB-3.6	p71/O.1/B	4	02/12/2011	13/01/2012	42	13/01/2012	42
DEB-4.3	p71/O.1/B+SR1	4	02/12/2011	20/01/2012	49	20/01/2012	49
DEB-3.7	p100/O.1/F40	5	04/05/2012	31/05/2012	27	31/05/2012	27
DEB-3.8	p100/O.1/F70	5	04/05/2012	04/06/2012	31	04/06/2012	31
DEB-3.9	p100/O.1/F100	5	04/05/2012	05/06/2012	32	05/06/2012	32
DEB-3.10	p100/D.4.4/Ph	5	04/05/2012	07/06/2012	34	08/06/2012	35
DEB-3.11	p100/D.4.3/Ph	5	04/05/2012	12/06/2012	39	12/06/2012	39
DEB-3.12	p100/D.4.2/Ph	5	04/05/2012	13/06/2012	40	13/06/2012	40

A continuación se indican los objetivos específicos perseguidos con cada una de las distintas series de piezas ensayadas:

- Serie 1: Analizar la influencia de las distintas variantes de esquemas de armado con armadura ortogonal para la cuantía de armadura baja. Al ensayarse una pieza con armadura mixta ortogonal-diagonal se analiza también de manera preliminar el efecto que tiene la introducción de armadura diagonal.
- Serie 2: Analizar la influencia de la cuantía de armadura.

- **Serie 3:** Analizar la influencia de distintos repartos entre el esquema resistente ortogonal y el diagonal, y el efecto del biselado de la esquina en piezas con armadura mixta ortogonal-diagonal. Se estudia preliminarmente el efecto de pretensar la armadura horizontal.
- **Serie 4:** Profundizar en el estudio del biselado del vértice, analizando su efecto también sobre configuraciones de armado ortogonales, así como analizar el efecto de disponer armadura secundaria sobre el apoyo, concentrada en un único plano o distribuida en dos.
- **Serie 5:** Analizar la influencia del empleo de HRFA con distintas cantidades de fibras y profundizar en el estudio del efecto del pretensado de la armadura horizontal, mediante el ensayo de distintas fuerzas de tesado.

III.2 Cargas de diseño estimadas

Para estimar las cargas de rotura previstas en la fase de diseño de las piezas, se consideran tres esquemas de bielas y tirantes distintos para el caso de las piezas con armaduras ortogonales:

- **Modelo 1** (véase Figura III.4), válido para especímenes en los que la carga vertical está restringida simultáneamente por el tirante vertical y el horizontal ($T_{sv} \approx T_{sh} \cdot \tan(\theta_1)$). La capacidad resistente del apoyo es por tanto igual a la capacidad del tirante vertical: $V = T_{sv}$
- **Modelo 2** (véase Figura III.6), en caso de que haya un exceso de capacidad resistente en el tirante principal vertical en relación al horizontal ($T_{sv} > T_{sh} \cdot \tan(\theta_1)$) es posible la formación de la biela 2-4. La capacidad resistente viene dada por el tirante horizontal: $V = T_{sh} \cdot \tan(\theta_1)$

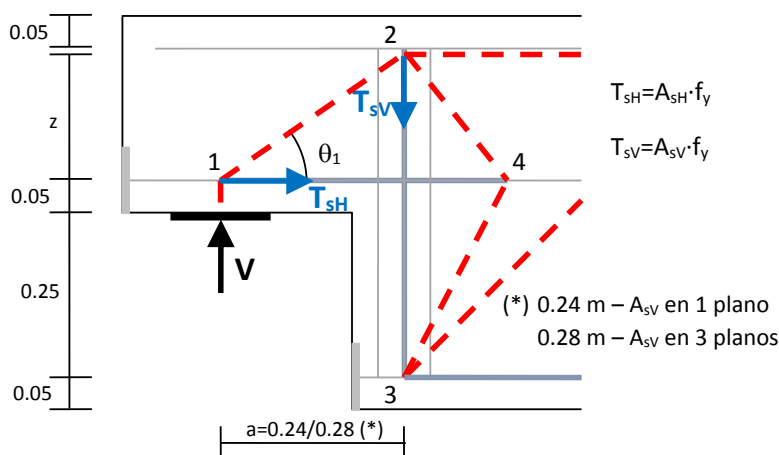


Figura III.6: Modelo de bielas y tirantes ortogonal 2 (O.2)

- **Modelo 3** (véase Figura III.7), en caso de que haya un exceso de capacidad resistente en el tirante horizontal respecto al vertical ($T_{sv} < T_{sh} \cdot \tan(\theta_1)$). En este caso el primer estribo de la armadura de cortante de la viga también contribuye a la resistencia vertical del apoyo, mediante la generación de la biela 1-5. No se considera una posible contribución del segundo estribo de la armadura de cortante de la viga dado que la biela que se generaría desde el apoyo formaría un ángulo muy reducido con la armadura horizontal. La capacidad resistente resulta: $V_{Rd} = T_{sv} + (T_{sh} - T_{sv} / \tan(\theta_1)) \cdot \tan(\theta_2) \leq T_{sv} + T_{s3}$

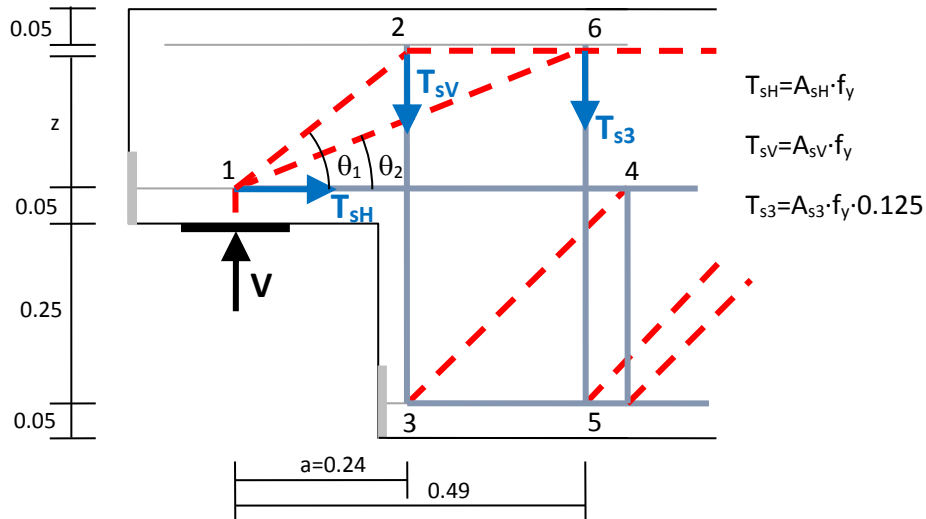


Figura III.7: Modelo de bielas y tirantes ortogonal 3 (O.3)

Por lo que respecta a las piezas con armadura ortogonal y diagonal, el cálculo de su carga de diseño se realiza sumando la contribución de los esquemas ortogonal y diagonal, cuyas capacidades resistentes se determinan independientemente. El esquema ortogonal se calcula en base a los 3 modelos anteriores especificados para las piezas con armadura ortogonal. La capacidad resistente del esquema diagonal se considera igual a la proyección vertical de la capacidad resistente de A_{sD} , tal y como se muestra en la Figura III.5: $V = T_{sD} \cdot \sin(47^\circ)$.

A partir de las indicaciones anteriores y suponiendo una tensión de plastificación de 550 MPa, basada en determinaciones experimentales previas, se determinan las cargas de diseño de los especímenes DEB-1.# y DEB-2.#, tal y como se muestra en la Tabla III.6.

Tabla III.6: Cargas de diseño estimadas

Espec.	Codificación	T_{sH} (kN)	T_{sV} (kN)	T_{sD} (kN)	T_{s3} (kN)	Modelo ByT ort.	$V_{ortogonal}$ (kN)	$V_{diagonal}$ (kN)	V (kN)
DEB-1.1	p49/O.1	215.98	141.69	0.00	215.98	1	141.7	0.0	141.7
DEB-1.2	p49/O.2	129.59	141.69	0.00	55.29	2	100.7	0.0	100.7
DEB-1.3	p49/O.3	215.98	55.29	0.00	55.29	3	110.4	0.0	110.4
DEB-1.4	p49/O.1	215.98	141.69	0.00	55.29	1	141.7	0.0	141.7
DEB-1.5	p49/O.2	129.59	141.69	0.00	55.29	2	86.3	0.0	86.3
DEB-1.6	p100/O.1	442.34	297.19	0.00	110.58	1	297.2	0.0	297.2
DEB-1.7	p100/O.2	248.81	297.19	0.00	110.58	2	165.7	0.0	165.7
DEB-1.8	p71/O.1	311.02	203.89	0.00	86.39	1	203.9	0.0	203.9
DEB-1.9	p71/O.2	186.61	203.89	0.00	86.39	2	124.3	0.0	124.3
DEB-2.1	p49/D.1	129.59	82.94	86.39	55.29	1	82.9	63.2	146.1
DEB-2.2	p100/D.1	248.81	172.79	167.60	110.58	1	172.8	122.6	295.4
DEB-2.3	p71/D.1	186.61	124.41	124.41	86.39	1	124.4	91.0	215.4
DEB-2.4	p100/D.2	172.79	124.41	234.99	110.58	1	124.4	171.9	296.3
DEB-2.5	p100/D.3	86.39	55.29	283.37	110.58	1	55.3	207.2	262.5
DEB-2.6	p100/D.4.1	442.34	55.29	283.37	110.58	3	165.9	207.2	373.1

No se estima el efecto concreto que pueden tener las variantes de diseño en la resistencia de las piezas (especímenes DEB-3.# y DEB-4.#). El biselado de la esquina es una ligera variación geométrica que no debería afectar la carga de rotura. El empleo de HRFA aumentará la resistencia de las piezas, al producir un aumento de la resistencia a tracción del hormigón. La disposición de armadura secundaria sobre el apoyo puede favorecer la difusión de la biela inclinada que parte del apoyo, aumentando algo la resistencia del mismo, pero dicha contribución es difícil de estimar mediante un modelo de bielas y tirantes.

III.3 Propiedades de los materiales

A continuación se describen las propiedades de los materiales empleados en la fabricación de los AMM: hormigón convencional, hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA), acero corrugado para armar y barras de acero roscadas de alto límite elástico.

III.3.1 Hormigón

La fabricación se realiza en 5 series distintas (véanse series en Tabla III.5), hormigonándose simultáneamente 6 piezas en cada serie. El hormigón se suministra mediante camión hormigonera desde central, solicitándose en todas las series un hormigón de resistencia característica de 30 MPa, consistencia fluida, tamaño máximo de árido de 20 mm y clase general de exposición no agresiva (HA-30/F/20/I, según denominación de la EHE-08 [2]). De esta forma la variabilidad del hormigón dentro de cada una de las series viene dada sólo por la diferencia de edad a la que se ensayen, efecto que se ha comprobado es muy reducido.



Figura III.8: Puesta en obra de las piezas con HRFA: (a) Hormigonado del apoyo con HRFA; (b) Hormigonado con hormigón convencional y vibrado para conexión de hormigones

En las piezas DEB-3.7, DEB-3.8 y DEB-3.9 se dispone HRFA. Dadas las características de este hormigón, su fabricación sí que se realiza en laboratorio. Por el elevado volumen de las piezas es inviable realizar en laboratorio la totalidad de la pieza, por lo que se opta por disponer HRFA sólo en la zona del apoyo (hasta donde se extiende la región D, véase Figura III.1) y hormigón convencional en el

resto de la pieza. Para materializar el cambio de hormigón sin generar una junta en el elemento se dispone una malla para facilitar la operación de puesta en obra (véase Figura III.8).

Para la fabricación del HRFA se empleó cemento tipo CEM I 42.5R, áridos calizos (filler, arena y árido grueso 7/12) y aditivo superplastificante Sika Viscocrete 5720. Las fibras de acero empleadas fueron DRAMIX RC-65/35-BN, con esbeltez $l/d=35/0.55=64$ y 1100 MPa de resistencia a tracción. Las dosificaciones para las 3 piezas correspondientes se muestran en la Tabla III.7.

Tabla III.7: Dosificaciones HRFA

kg/m ³	DEB-3.7	DEB-3.8	DEB-3.9
CEM I 42.5R	340.0	340.0	340.0
Agua	210.0	210.0	210.0
Fibras 65/35 BN	40.0	70.0	100.0
Arena	954.1	954.1	954.1
Filler	125.0	125.0	125.0
Árido 7/12	731.1	731.1	731.1
Superplastificante	5.4	5.4	5.4
Agua/cemento	0.62	0.62	0.62

Se ensayaron probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm a la misma edad a la que se ensayaron los AMM para determinar la resistencia a compresión (f_c) según UNE-EN 12390-3 [72] y la resistencia a tracción indirecta (f_{ct}) según UNE-EN 12390-6 [73], cuyos resultados, junto con los de las probetas de control ensayadas a 28 días se muestran en la Tabla III.8. Cabe destacar que la dispersión observada en los resultados de tracción indirecta es más achacable a la elevada dispersión del ensayo que a cambios reales de la resistencia.

Tabla III.8: Resistencia del hormigón

Espéc.	f_c (MPa)	f_{ct} (MPa)	Espéc.	f_c (MPa)	f_{ct} (MPa)	Control	f_c (MPa)	f_{ct} (MPa)
DEB-1.1	41.1	3.15	DEB-3.1	33.7	2.70	Serie 1	41.0	3.03
DEB-1.2	39.3	2.56	DEB-3.2	37.2	4.02	Serie 2	34.9	3.26
DEB-1.3	39.9	2.98	DEB-3.3	38.8	3.05	Serie 3	37.1	2.88
DEB-1.4	40.4	3.19	DEB-3.4	34.6	2.86	Serie 4	34.9	3.14
DEB-1.5	40.8	3.05	DEB-3.5	33.1	3.05	Serie 5	45.7	3.59
DEB-1.6	31.1	3.19	DEB-3.6	36.7	3.26			
DEB-1.7	30.0	2.84	DEB-3.7	45.5	-			
DEB-1.8	32.2	2.77	DEB-3.8	48.8	-			
DEB-1.9	31.9	3.19	DEB-3.9	48.4	-			
DEB-2.1	40.2	3.05	DEB-3.10	41.8	3.74			
DEB-2.2	33.3	2.98	DEB-3.11	45.5	3.40			
DEB-2.3	33.3	2.98	DEB-3.12	48.4	3.88			
DEB-2.4	36.9	3.67	DEB-4.1	33.3	3.19			
DEB-2.5	37.1	2.84	DEB-4.2	35.2	3.05			
DEB-2.6	38.3	3.19	DEB-4.3	36.9	3.47			

En el caso del HRFA en lugar de la determinación de la resistencia a tracción se realizan ensayos de flexión a 3 puntos sobre probetas prismáticas de 550x150x150 mm³ según UNE-EN 14651:2007 [74], determinándose tanto el límite de proporcionalidad (f_L), como los distintos valores de la resistencia residual a flexotracción (f_{Rj}) (véase Tabla III.9).

Tabla III.9: Resultados de ensayos de flexotracción de HRFA

Espéc.	Fibras (kg/m ³)	Fibras (%)	f_L (MPa)	$f_{R,1}$ (MPa)	$f_{R,2}$ (MPa)	$f_{R,3}$ (MPa)	$f_{R,4}$ (MPa)
DEB-3.7	40	0.50	3.49	3.95	3.65	2.24	1.56
DEB-3.8	70	0.87	4.17	8.44	7.26	4.95	3.43
DEB-3.9	100	1.24	4.75	9.89	9.61	7.78	6.17

En el Anejo C se muestran más detalles de los resultados de estos ensayos de caracterización de las propiedades mecánicas del hormigón.

III.3.2 Acero

Para la fabricación de las piezas se emplea acero corrugado de calidad B500SD. En el caso de la armadura horizontal (A_{SH}) de los especímenes pretensados DEB-3.10, DEB-3.11 y DEB-3.12 se disponen barras de pretensado roscadas tipo Dywidag con un límite elástico mínimo de 900 MPa. En el otro espécimen pretensado (DEB-3.3) se disponen barras corrugadas tipo B500SD mecanizadas con rosca en sus extremos para permitir el proceso de tesado mediante tuercas de anclaje.

Para cada una de las series de vigas (véase Tabla III.5) se emplea un lote distinto de acero. Para cada lote y diámetro empleado se realizan dos ensayos de tracción según UNE-EN ISO 6892-1:2009 [75], en los que se determina tanto su límite elástico (f_y), como la resistencia a la tracción (f_{max}). El resumen de los resultados se muestra en la Tabla III.10. En el Anejo B se detallan los resultados y se muestra el procedimiento de ensayo.

Tabla III.10: Características mecánicas de los aceros

		Diámetro (mm)							
		$\phi 6$	$\phi 8$	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 15$	$\phi 16$	$\phi 20$	$\phi 25$
Especímenes: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2.1	f_y (MPa)	605.4	619.0	566.5	585.0	-	-	536.2	-
	f_{max} (MPa)	713.1	708.9	655.0	672.5	-	-	655.5	-
Especímenes: 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.2, 2.3	f_y (MPa)	547.3	532.3	544.2	546.1	-	549.6	-	569.9
	f_{max} (MPa)	680.1	672.1	654.3	658.5	-	672.8	-	695.9
Especímenes: 2.4, 2.5, 2.6, 3.1, 3.2, 3.3	f_y (MPa)	558.6	554.1	548.4	551.7	-	543.9	-	539.9
	f_{max} (MPa)	718.2	673.5	656.2	640.1	-	638.3	-	650.9
Especímenes: 3.4, 3.5, 3.6, 4.1, 4.2, 4.3	f_y (MPa)	599.5	549.1	557.0	548.2	-	573.5	-	564.8
	f_{max} (MPa)	752.3	666.6	664.1	665.2	-	663.7	-	692.4
Especímenes: 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12	f_y (MPa)	-	509.3	542.4	551.7	983.2	529.7	-	540.9
	f_{max} (MPa)	-	659.9	645.4	651.8	1184.0	637.6	-	649.8

III.4 Configuración de ensayo

En este apartado se realiza una descripción del ensayo realizado, prestando especial atención al esquema de transmisión de cargas y a los aparatos de apoyo. En la Figura III.1 se muestra el esquema de cargas aplicado sobre la pieza. Una vista general del ensayo se muestra en la Fotografía III.1. La disposición adoptada, al disponer un apoyo intermedio, permite el ensayo independiente de los dos AMM de cada viga.

Cabe destacar que como excepción a la disposición anterior, en los 5 primeros ensayos de la primera serie de piezas (DEB-1.1, DEB-1.2, DEB-1.3, DEB-1.4 y DEB-1.5) se emplea una configuración de cargas simétrica ensayándose simultáneamente los dos AMM de cada viga⁸. En estos casos, en caso de que la rotura se produzca primero por uno de los apoyos, la pieza vuelve a cargarse disponiendo esta vez un apoyo intermedio en el lado en que se haya producido la rotura, para obtener así su carga de rotura.

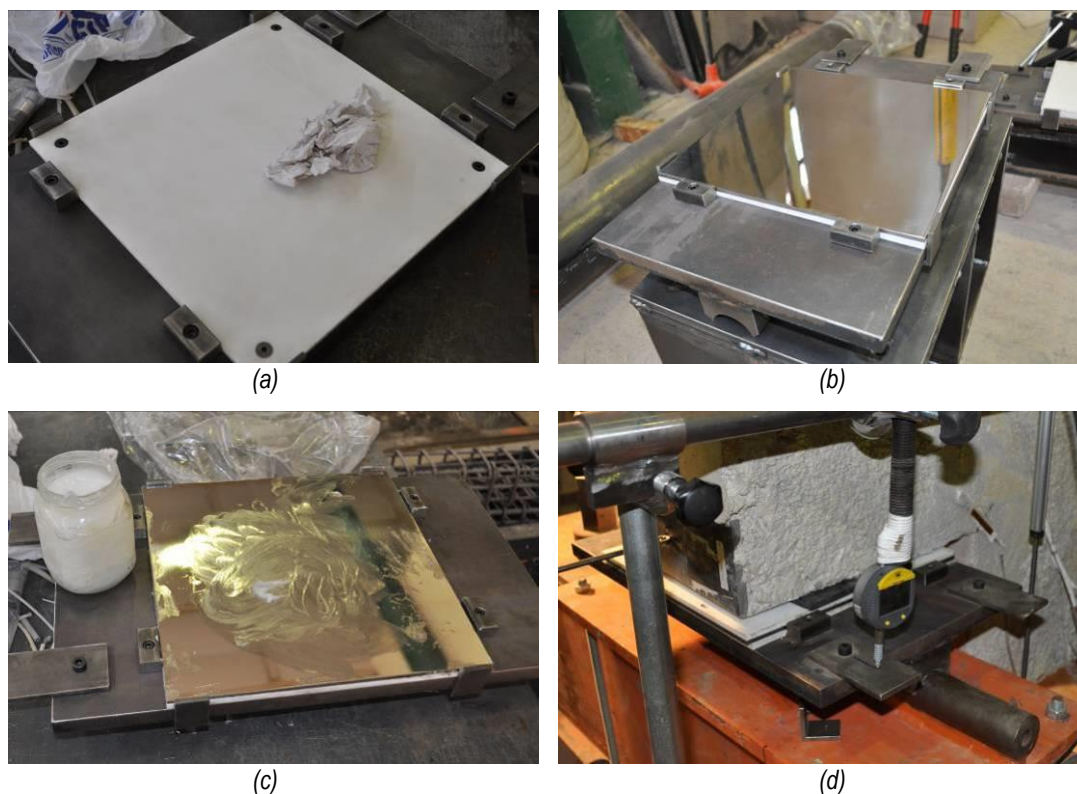


Fotografía III.1: Vista general del ensayo

Para la aplicación de la carga se emplea un actuador hidráulico de 2500 kN accionado mediante un grupo de presión de 250 bares de doble efecto dispuesto sobre un pórtico de reacción (véase Fotografía III.1).

Se diseñan unos aparatos de apoyo que permiten tanto la rotación como el desplazamiento horizontal garantizándose que la carga transferida a los AMM no tiene componente horizontal. Esto se consigue con un elemento basculante que incorpora un sistema de placas de teflón (PTFE) y de acero inoxidable pulido de 5 mm de espesor (véase Fotografía III.2). Sobre las capas que componen el apoyo deslizante se dispone un neopreno de 300x150x20 mm para asegurar un reparto uniforme de la carga en la superficie de apoyo deseada.

⁸ La configuración de cada ensayo viene convenientemente detallada en el apartado C.2 de las correspondientes fichas incorporadas en el Anejo H.



Fotografía III.2: Aparato de apoyo deslizante: (a) Placa inferior de PTFE; (b) Placa intermedia de acero inoxidable; (c) Lubricación de superficies; (d) Aparato de apoyo en ensayo

III.5 Instrumentación

En este apartado se detalla la instrumentación dispuesta para la toma de datos de los ensayos, como son la medida de la carga aplicada, desplazamientos, deformaciones y aberturas de fisura, realizada esta última mediante técnica fotogramétrica.

Para el control de la carga aplicada se dispone un transductor de fuerza tipo C6A 1000 kN de HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik), que se complementa con la medición de presión en el circuito hidráulico mediante 2 transductores de presión tipo Druck PDCR 4011 de 350 bares de General Electric.

Por lo que respecta a la medida de desplazamientos, tanto para el control de la deformada, como el alargamiento de los tirantes, así como el deslizamiento producido en los apoyos se disponen hasta 21 transductores de desplazamiento potenciométricos lineales, del tipo TEX-0300 de Novo Technic, con una carrera máxima de 300 mm. La disposición concreta de los transductores se encuentra detallada para cada ensayo en el apartado C.2 de su ficha (véase Anejo H). A modo de ejemplo en la Figura III.9 se muestra la disposición para el ensayo DEB-2.5 (T1).

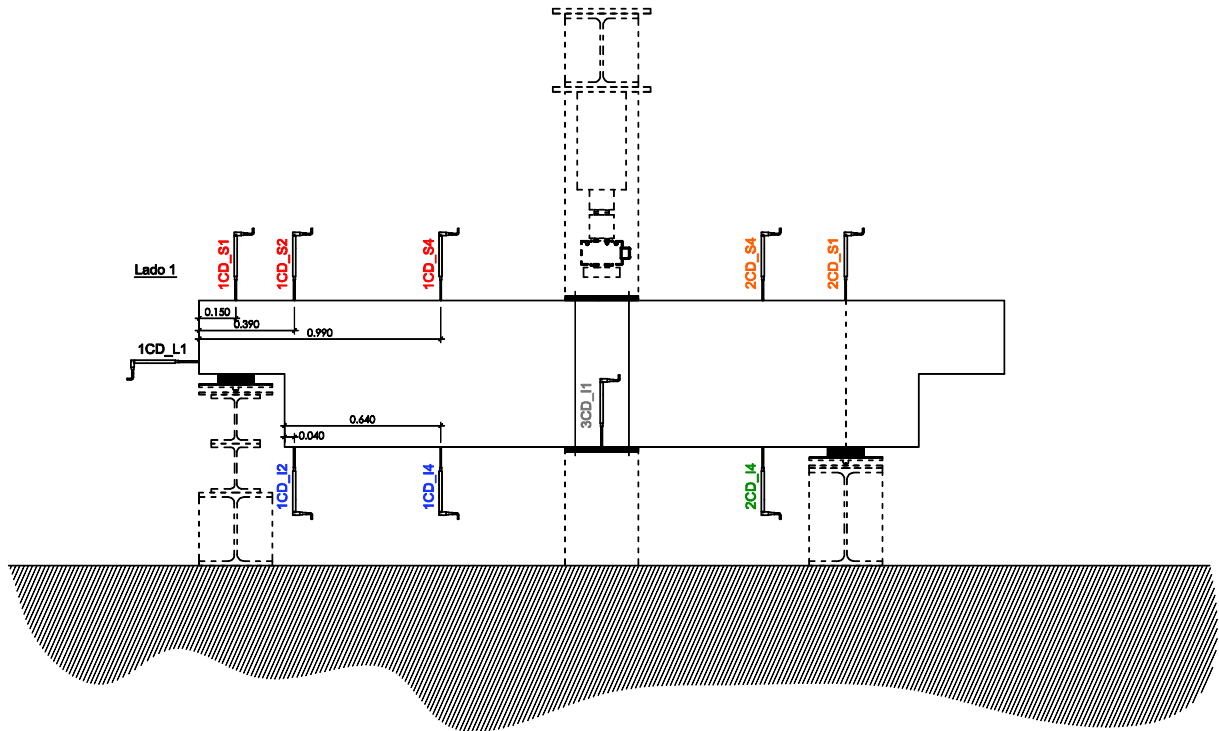


Figura III.9: Esquema de disposición de transductores de desplazamiento. Ensayo DEB-2.5 (T1)

Las deformaciones de las distintas barras de acero existentes en la región D se controlan mediante bandas extensométricas tipo K-LY41-3/120-3-2M de HBM, de 3 mm de longitud. La disposición de bandas depende de la configuración de armado, variando entre las 55 y las 99 bandas extensométricas por viga. La disposición concreta de bandas se muestra en el apartado C.1 de cada ficha de ensayo (véase Anejo H). A modo de ejemplo en la Figura III.10 se muestra uno de los esquemas.

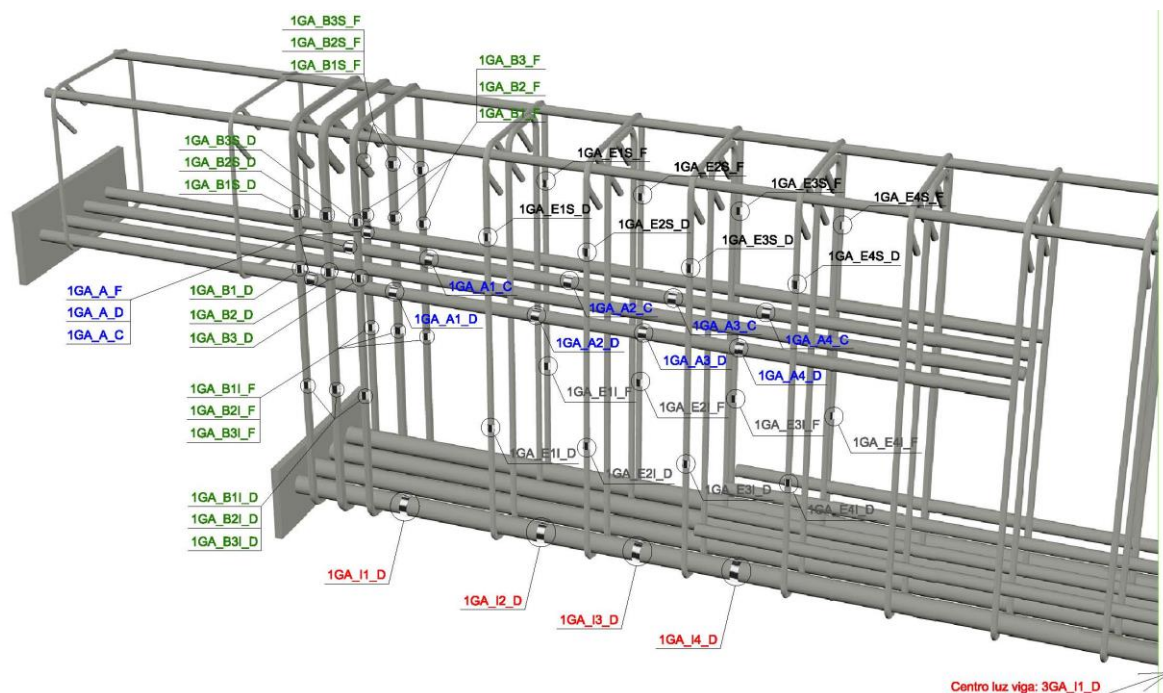


Figura III.10: Esquema de ubicación de bandas extensométricas de acero. Ensayo DEB-1.6 (T1)

Se disponen también 4 bandas extensométricas tipo K-LY41-50/120-3-0.5M de HBM, de 50 mm de longitud, pegadas a la superficie del hormigón junto a las esquinas, para detectar la carga de fisuración (véase Figura III.11).

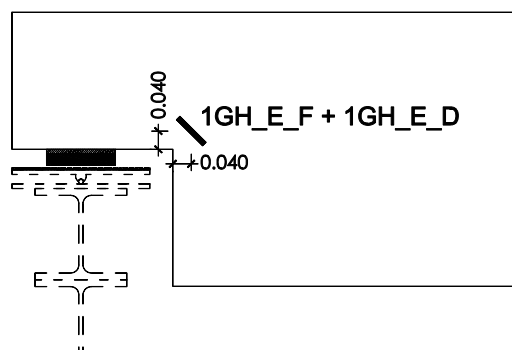


Figura III.11: Esquema de ubicación de bandas extensométricas de hormigón

Para la medición de la abertura de fisura se ha empleado una técnica de medición fotogramétrica que garantiza su registro continuo, que no habría sido posible con el empleo de microscopios ópticos o deformímetros. La opción que toman otros autores [4], [32], [53] para realizar esta medida con transductores de desplazamiento (véase Fotografía II.3) en las inmediaciones de la esquina permite una medida continua, pero presenta los siguientes problemas:

- Se desconoce a priori la inclinación de la fisura, no siendo posible disponer los transductores perfectamente perpendiculares a la misma.
- Pueden abrirse varias fisuras en la zona de medida del transductor, invalidándose la medición.
- Es difícil disponer los transductores justo en el borde de la pieza, zona en la que la abertura de fisura es mayor.

La técnica fotogramétrica solventa los problemas anteriores. Se emplean entre dos y tres cámaras fotográficas Canon EOS 5D Mark II, equipadas con lentes Canon EF 85 mm f/1.8 USM y Canon EF 24-105mm f/4L IS USM para la toma de las fotografías durante el ensayo. La calibración de las distorsiones de la lente se realiza con el procedimiento de Zhang [76] en el que se toman diferentes fotos de una rejilla plana desde diferentes puntos de vista. Cabe destacar que el modelo de cámara usado es el propuesto por Heikkilä y Silven [77], que comprende parámetros intrínsecos y extrínsecos, cuatro de los cuales se corresponden con coeficientes de distorsión.

Se toma una foto por segundo durante el ensayo de la región cercana a la esquina de las piezas, de forma que la inversa de la resolución resulta de 0.05 mm/píxel. Del procesamiento fotogramétrico se obtiene el campo de desplazamientos, del que se extrae la abertura (w) y el deslizamiento de fisura (δ), tal y como se muestra en la Figura III.12. Los deslizamientos obtenidos son muy inferiores al valor de abertura de fisura registrado, pudiendo considerar que en servicio la componente de abertura es claramente predominante frente al deslizamiento. Puesto que los valores de deslizamiento no son relevantes para la discusión posterior no se han incluido en el análisis.

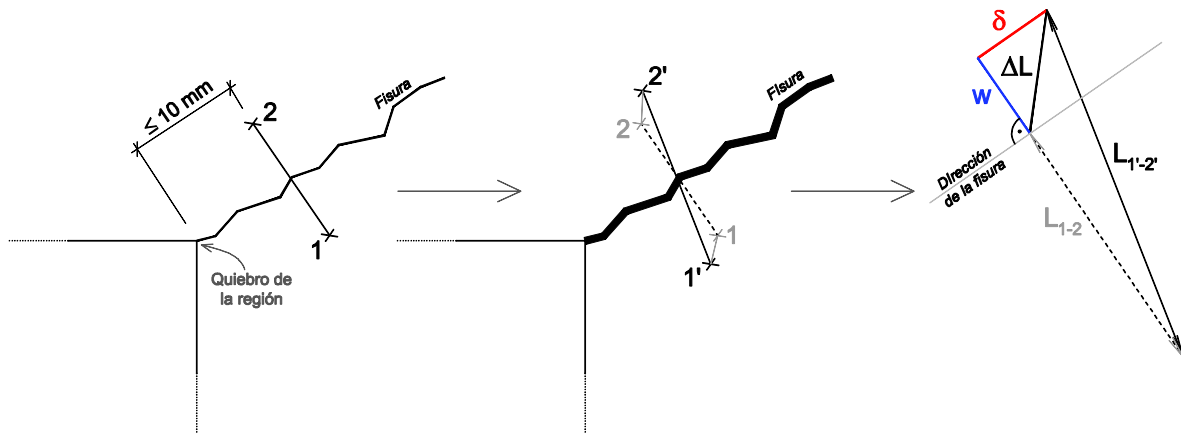


Figura III.12: Determinación de la abertura de fisura a partir del campo de desplazamientos

Para llevar a cabo la presente campaña experimental ha sido necesario desarrollar la herramienta fotogramétrica inicialmente disponible en el Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH), dado que ésta no permitía la corrección de distorsiones y no garantizaba una precisión adecuada para la medición de aberturas de fisura. En el Anejo F se recogen más detalles del proceso de medición fotogramétrica, algunas bases teóricas, así como ensayos realizados para analizar la bondad de la medición, de forma que sirvan para futuros desarrollos o empleos de la técnica.

Para comprobar la precisión de la técnica de medida se disponen de dos medidas de contraste. Por una parte, en todos los ensayos se comparan los resultados fotogramétricos respecto a los obtenidos por las bandas extensométricas dispuestas en el hormigón (véase Figura III.11). Dichas bandas, tras la fisuración de las piezas, continúan registrando deformaciones hasta un límite muy variable dependiendo del ensayo, pero que llega en ocasiones al 16‰ (correspondiéndose con 0.7 mm de abertura de fisura). Estas deformaciones son una medida indirecta de la abertura de fisura, al ser despreciable frente a ésta las deformaciones en el hormigón. Se observa una buena correlación entre las medidas de las bandas extensométricas y la medición fotogramétrica, tal y como se muestra a modo de ejemplo para dos ensayos en la Figura III.13.

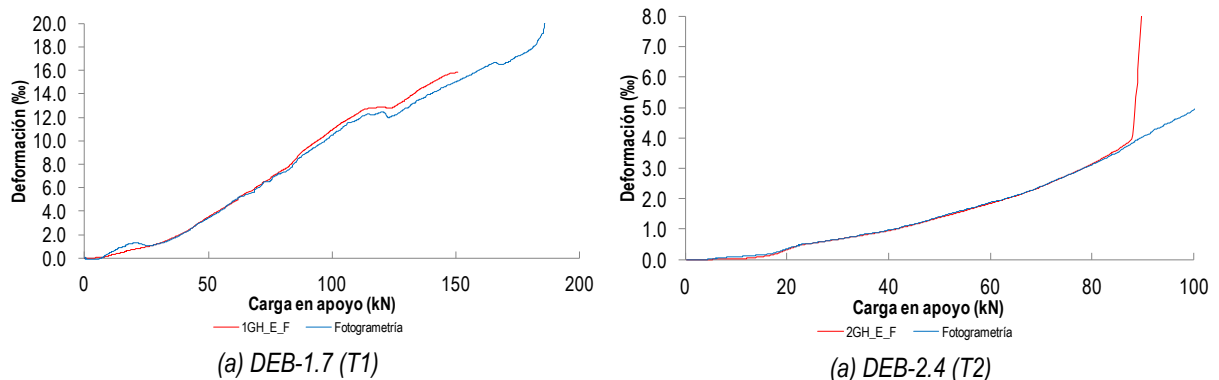


Figura III.13: Comparativa de resultados de bandas extensométricas y medición fotogramétrica

La segunda medida de contraste se realizó en el ensayo DEB-2.3 (T1), comparando la medida de la fotogrametría con la medición de la abertura de fisura mediante un microscopio óptico OPT-P2034-100M de 100 aumentos de Peak Optics. Para ello, en este ensayo la carga se aplicó en un total de 14

escalones. Los resultados de la comparativa se muestran en la Figura III.14 y denotan también una muy buena correlación hasta el rango de aberturas de fisura medidas con el microscopio (1.5 mm).

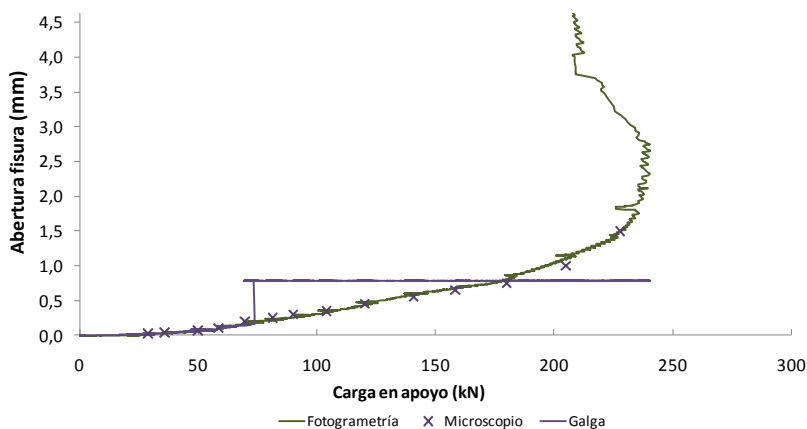


Figura III.14: Comparativa de técnicas de medición de abertura de fisura: ensayo DEB-2.3 (T1)

III.6 Fabricación y protocolo de ensayo

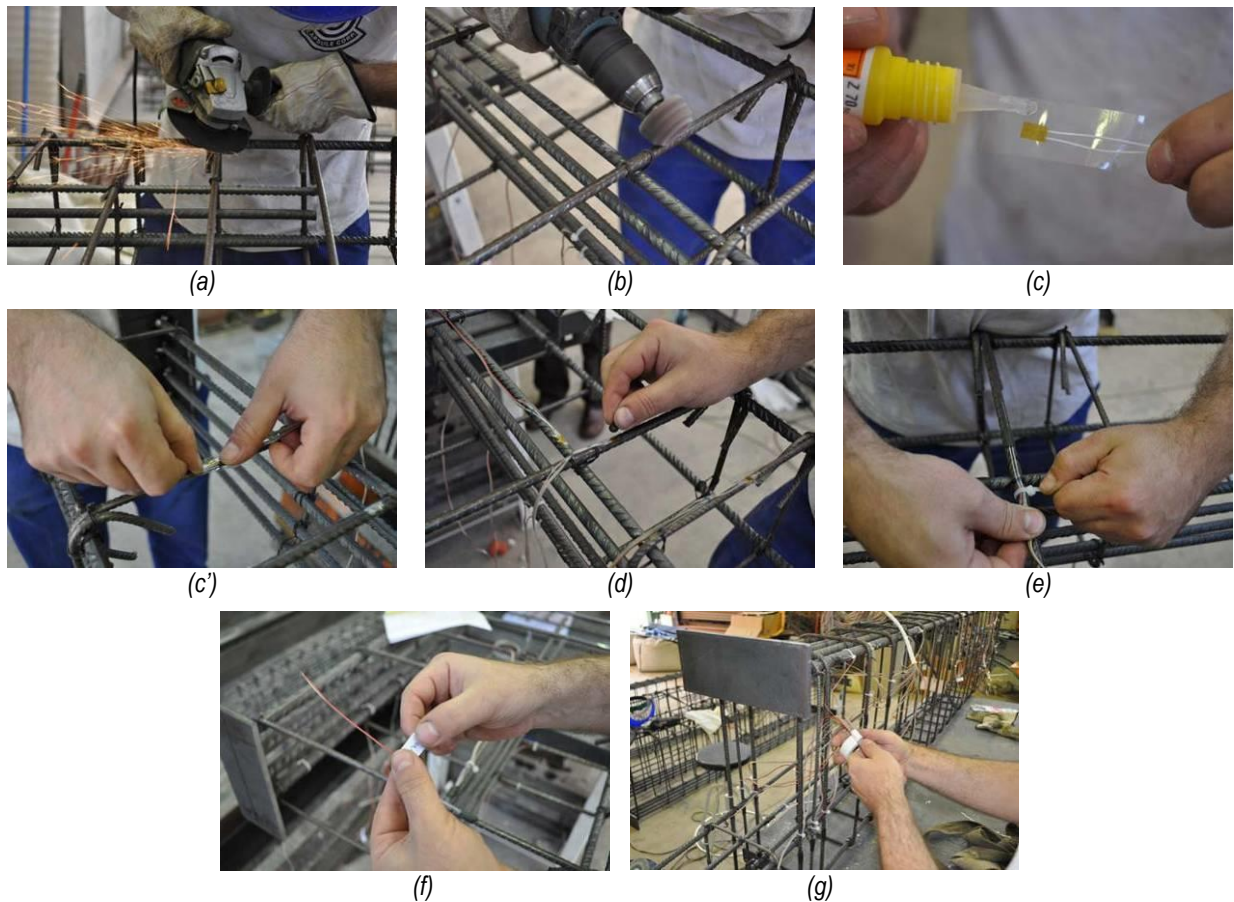
La fabricación y el ensayo de las piezas se realizaron en el laboratorio de elementos estructurales del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) de la Universidad Politécnica de Valencia. En este apartado se muestra de una manera gráfica las principales tareas requeridas para realizar los ensayos.

Para controlar de manera adecuada la realización de los ensayos se ha confeccionado un protocolo de ensayo (véase Anejo A), en el que se registra la fecha en que se realiza cada una de las tareas, así como posibles incidencias surgidas en las mismas. Dicho protocolo comprende el proceso completo desde la definición de las piezas hasta el análisis de los resultados obtenidos. A continuación, de entre todas las tareas indicadas en el protocolo, se relacionan exclusivamente las principales tareas realizadas en el laboratorio⁹.

FASE 2: Fabricación de piezas

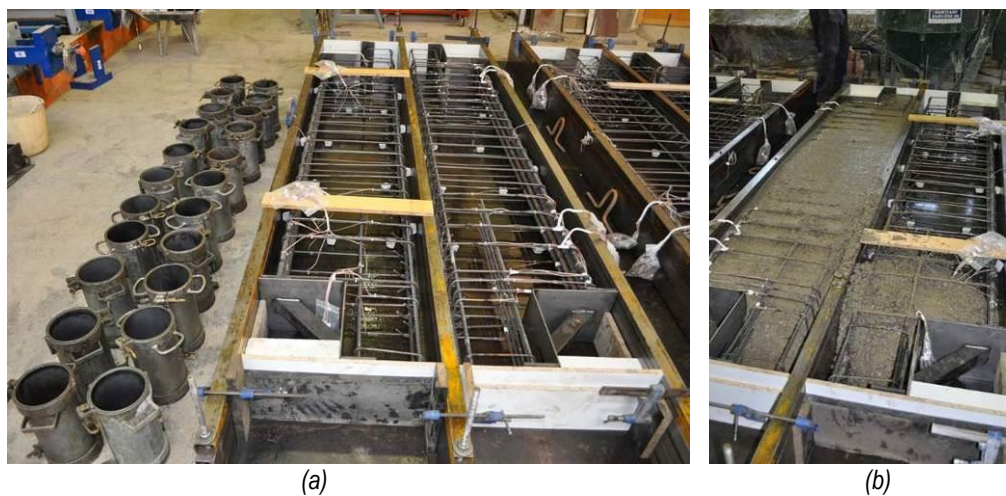
- Instrumentación de ferralla. Disposición de galgas en armaduras según esquemas predefinidos. Comprende las siguientes operaciones (véase Fotografía III.3):
 - (a) Eliminar las corrugas de la ferralla con la amoladora angular (sierra radial)
 - (b) Pulir la superficie y limpiarla con acetona
 - (c) Pegar la galga
 - (d) Proteger la galga con masilla, para evitar que se dañe durante el hormigonado
 - (e) Disponer una abrazadera de plástico para evitar posibles tirones del cable
 - (f) Etiquetar convenientemente el cable
 - (g) Recoger los cables y protegerlos dentro de bolsas

⁹ Se mantiene en este apartado la numeración de las fases empleada en el Protocolo del Ensayo. Para un detalle completo de las tareas realizadas, deberá acudir a dicho protocolo contenido en el Anejo A.



Fotografía III.3: Proceso de instrumentación de la ferralla

- Preparación de encofrados. El encofrado se realiza sobre una plancha horizontal sobre la que se disponen perfiles tubulares metálicos que separan las piezas entre sí (véase Fotografía III.4.a). Para materializar el apoyo se han fabricado unas escuadras metálicas. Antes de disponer la ferralla en los encofrados se disponen un número suficiente de separadores en la ferralla que garantizan los recubrimientos deseados de las armaduras.



Fotografía III.4: (a) Preparación de encofrados; (b) Hormigonado

- Hormigonado. Se fabrican 6 vigas simultáneamente. El hormigón es suministrado por una central de hormigonado (véase Fotografía III.4.b).

FASE 3: Preparación del ensayo

- Colocación de la pieza en el pórtico de ensayo

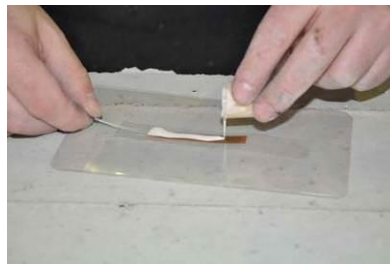


Fotografía III.5: Montaje de probeta en pórtico de ensayo

- Pegado de galgas en la superficie del hormigón. Se usa adhesivo bicomponente específico.



(a)



(b)



(c)

Fotografía III.6: Proceso de pegado de galgas en la superficie de hormigón: (a) Mezclado de adhesivo bicomponente; (b) Colocación de pegamento sobre galga; (c) Pegado

- Colocación de transductores de desplazamiento y conexión al equipo de adquisición (véase Fotografía III.7.a)
- Conexión de galgas extensométricas. Se disponen punteras en los extremos de los cables para asegurar una adecuada conexión eléctrica (véase Fotografía III.7.b) y se conectan a los canales correspondientes del equipo de adquisición, según la configuración de canales prevista.



(a)



(b)

Fotografía III.7: (a) Transductores de desplazamiento sobre la probeta; (b) Disposición de punteras en extremos de cables de galgas extensométricas

- Preparación de equipo fotogramétrico. Se realiza un moteado con pintura blanca y negra de la zona de medición, para mejorar el contraste (véase Fotografía III.8.a). Se dispone la iluminación artificial y las cámaras en la posición deseada (véase Fotografía III.8.b).



(a)



(b)

Fotografía III.8: (a) Moteado de la región de medición fotogramétrica; (b) Colocación del equipo fotogramétrico

- Configuración de canales en el software de adquisición de datos fotogramétrico.

FASE 4: Realización del ensayo



Fotografía III.9: Detalle del ensayo DEB-1.9 (T2) en rotura

Capítulo IV

Resultados experimentales

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la campaña experimental descrita en el Capítulo III, analizando y discutiendo los mismos. En un primer apartado se describen las fichas de los ensayos que contienen toda la información experimental; las fichas correspondientes a cada uno de los ensayos, así como el procedimiento para la obtención de resultados elaborados a partir de los obtenidos directamente de la instrumentación se adjuntan en el Anejo G y el Anejo H respectivamente. A continuación se realiza una síntesis de los resultados tanto en rotura como en servicio, describiéndose el comportamiento de las piezas durante los ensayos, desde la fisuración hasta su rotura. En base a los datos obtenidos para la carga máxima y la observación directa de los ensayos realizados se ha propuesto una clasificación de los modos de rotura observados. Por último, se realiza una discusión de los resultados obtenidos, en la que se analiza con extensión la influencia de las distintas variables analizadas tanto en la fisuración como en la rotura de los apoyos a media madera (AMM).

IV.1 Descripción de las fichas de ensayos

IV.1.1 Organización

La ficha de cada uno de los ensayos está compuesta por un total de 7 hojas. Tal como se describió en el apartado III.1, para cada una de las configuraciones previstas se realizaron dos ensayos, uno por cada uno de los apoyos de las piezas. En la Tabla IV.1 y la TTTT se indica la numeración de la ficha para cada ensayo realizado, así como un enlace para el acceso directo a la ficha correspondiente contenida en el Anejo H. Estas tablas se muestran posteriormente en la síntesis de resultados.

En la parte superior derecha del encabezado de las fichas se indica un código que indica el número de la ficha y el número de hoja de la ficha, separados por un punto (véase ejemplo en la Figura IV.1). Debajo de éste código se indica la pieza ensayada y el apoyo de la misma (T1 o T2).

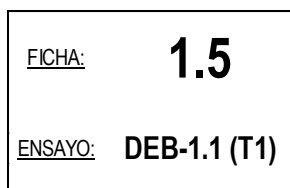


Figura IV.1: Ejemplo de numeración de fichas de ensayos

Cada una de las fichas sintetiza tanto los datos de la pieza, como los resultados obtenidos en el ensayo (gráficas, fotografías...). A continuación se describen los distintos apartados en que se han dividido las fichas:

- A. Descripción del ensayo. Contiene los datos básicos del ensayo: codificación de la pieza (descrita previamente en el apartado III.1.2), fechas de hormigonado y ensayo, armaduras que componen los tirantes principales, propiedades mecánicas del hormigón, codificación del tipo de rotura¹⁰, carga¹¹ máxima alcanzada en el ensayo (V_u) y carga para una abertura de fisura de 0.4 mm.
- B. Esquemas de armado. Se muestran esquemas detallando los tirantes principales de la región D y las restantes armaduras existentes en la viga.
- C. Instrumentación. Se muestra la ubicación de las galgas extensométricas de acero (véase ejemplo en Figura III.10) y de los transductores de desplazamiento. En este último esquema se resalta el apoyo listado en la ficha para aquellos ensayos con una configuración simétrica.
- D. Resultados – Gráficas. Un total de 2 hojas componen las gráficas de resultados. En ellas se representa en ordenadas la variable de estudio (deformación, flecha, abertura de fisura...) y en abscisas la que se considera la variable independiente del ensayo: la carga. Se señalan con líneas punteadas (véase Figura IV.2) las cargas que definen determinados escalones representativos de los ensayos, cuyo cálculo se detalla en el Anejo G.

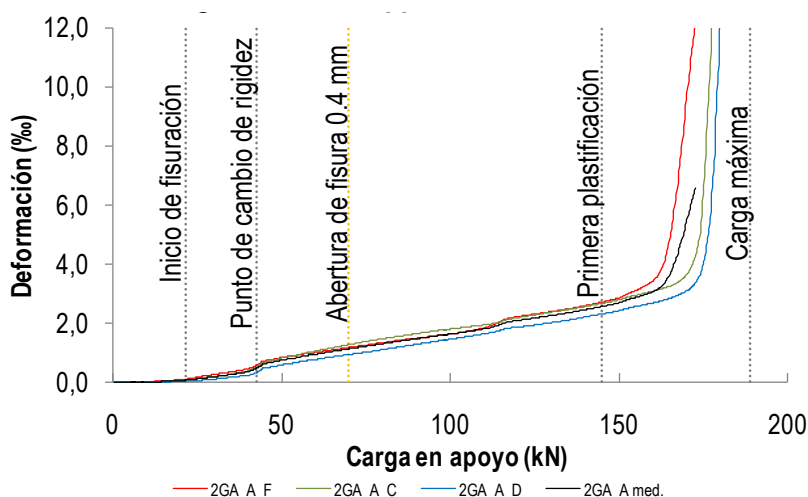


Figura IV.2: Ejemplo de gráfica carga-deformación. Ensayo DEB-1.7 (T2)

¹⁰ La denominación de los modos de fallo se explica posteriormente en el apartado IV.4.2.

¹¹ Todos los resultados de carga del estudio se refieren a la reacción vertical en el apoyo ensayado (V), no a la carga que introduce el actuador (Q). Véase Figura III.1.

La primera hoja contiene los resultados más relevantes del ensayo, como son la abertura de fisura y las deformaciones de las armaduras principales, mientras que la segunda hoja contiene información de deformaciones de otras armaduras instrumentadas. Se confecciona una gráfica representando abertura de fisura frente a deformaciones de armaduras principales, indicando en la misma la deformación para la que plastifica cada una de las armaduras (véase ejemplo en Figura IV.3).

En las gráficas de deformaciones se representan las distintas galgas dispuestas (cara frontal, central y dorsal) y en negro su promedio. Para la armadura vertical en los casos en que hay tres estribos, se representan sólo los promedios de cada estribo.

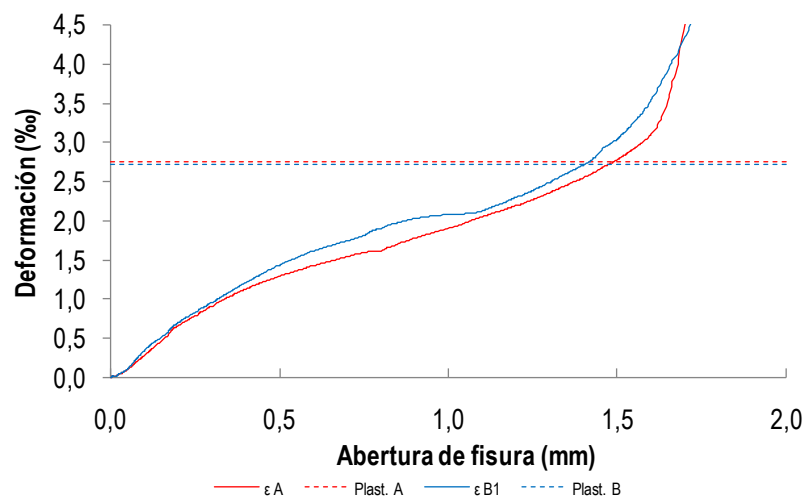


Figura IV.3: Ejemplo de gráfica deformación-abertura de fisura. Ensayo DEB-1.7 (T2)

- E. Resultados - Tablas. En la 5ª hoja de las fichas de ensayos se muestran dos tablas que muestran los principales resultados. La primera tabla muestra los resultados en escalones de carga y la segunda en puntos representativos (una determinada abertura de fisura, el comienzo de la plastificación...).
- F. Esquemas de tensiones y tracciones. Para facilitar el análisis simultáneo de la información de todas las armaduras se confeccionan figuras para el 25%, el 50%, el 75% y el 100% de la carga máxima. Con el grosor se representa la tracción que lleva cada armadura que además se grafía con texto; con el color se representa el cociente entre la tensión de la armadura (σ_s) y el límite elástico de la misma (σ_y). En muchas ocasiones las galgas fallan a elevadas cargas; en esos casos se dibuja la armadura con trazo discontinuo y grafiándose el texto "Sin datos"; en caso de que falle una galga habiendo plastificado previamente la armadura, se pondrá el texto "Plast." y se mantendrá el grosor asociado a la máxima tracción registrada.

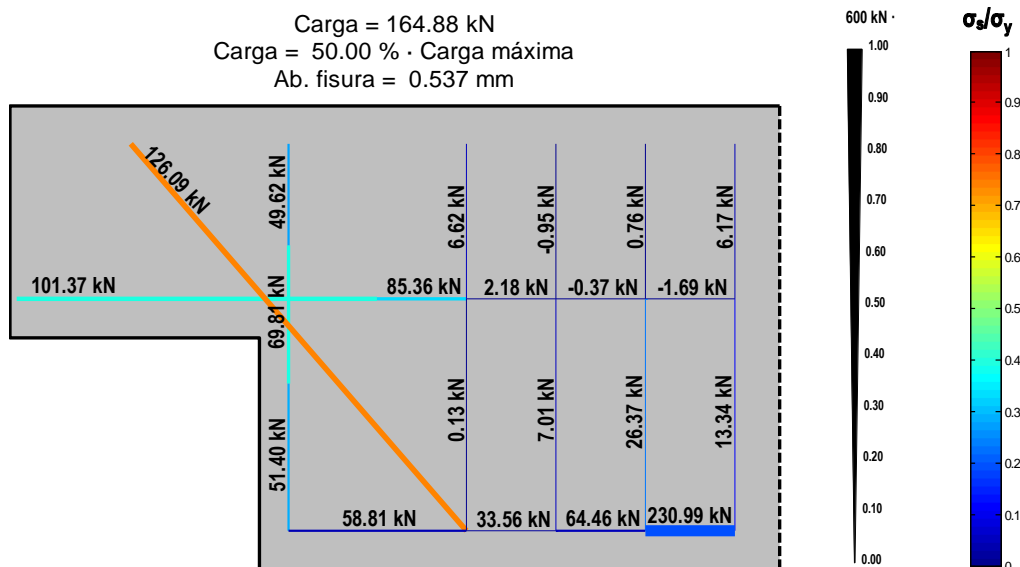


Figura IV.4: Ejemplo de esquema de tensiones y tracciones. Ensayo DEB-2.2 (T2)

G. Fotos de los ensayos.

H. Comentarios. Se indican posibles incidencias del ensayo y se describe el proceso de fisuración, la rotura y el comportamiento post-pico.

IV.1.2 Procesado de resultados

Las fichas de ensayos contienen una serie de resultados obtenidos directamente por la instrumentación descrita en el apartado III.5 (deformaciones, carga...), así como otra serie de resultados obtenidos por procesado de la información directa, como son la carga de inicio de fisuración (V_{cr}), el punto representativo de cambio de rigidez, la flecha, la abertura de fisura (w) y las tensiones y los esfuerzos de tracción en las armaduras. En el Anejo G se detallan las hipótesis realizadas para la determinación de cada uno de estos resultados.

Cabe destacar que la abertura de fisura (w) determinada se corresponde con la abertura de fisura máxima en el borde de las piezas ($w=w_{max}=CMOD$), puesto que se considera que esta abertura de fisura máxima es la que se restringe en las normativas. Los resultados de aberturas de fisuras en otros ensayos existentes en la bibliografía están referidos en algunos casos también a la abertura de fisura máxima en el borde de las piezas (w_{max}), mientras que en otros casos se determinan a la altura de las armaduras (w_{reinf}) o bien no se detalla dónde se realiza la medida. No existe por tanto un consenso respecto a dónde medir la abertura de fisura, ni ningún estudio analizando su variación para distintas posiciones. La medición fotogramétrica empleada permite un estudio en este sentido, cuya discusión se abordará en el apartado IV.5.1.1.

IV.2 Síntesis de resultados

En la Tabla IV.1 y la Tabla IV.2 se muestran los resultados más representativos de los ensayos. Para cada espécimen se muestran los dos ensayos realizados (T1-T2), uno en cada uno de los extremos de las vigas.

En las piezas DEB-1.1 y DEB-1.5, al disponerse una configuración de ensayo simétrica (véase apartado III.4) y encontrarse muy dañados ambos apoyos tras el primer ensayo, no fue posible realizar un segundo ensayo. Para dichas piezas se muestran como resultados del ensayo T2 los resultados en servicio del apoyo 2 para el ensayo simétrico; la carga máxima alcanzada en estos casos se representa entre paréntesis dado que es idéntica a la del apoyo 1.

En el caso de las piezas DEB-1.2, DEB-1.3 y DEB-1.4, también con configuración de ensayo simétrica, sí que fue posible realizar un segundo ensayo de recarga. En este caso en la tabla de síntesis de resultados se muestran los resultados de cada apoyo en el ensayo simétrico; además, para el apoyo que se recarga, se indica como valor de carga máxima la obtenida en el ensayo de recarga. Este último valor de la carga última se resalta en cursiva.

Durante el ensayo T1 de las piezas DEB-2.3 y DEB-2.6 se produjeron daños en el entorno del apoyo intermedio situado en las inmediaciones del AMM a ensayar en el ensayo T2. Pese a ello se llevaron a cabo los ensayos del segundo apoyo (T2). Dichos ensayos arrojaron resultados anómalos, por lo que dichos resultados se han eliminado de la síntesis de resultados. Además, para las piezas DEB-1.2, DEB-1.4, DEB-1.6, DEB-2.4, DEB-3.4 y DEB-3.5, se descartaron los resultados en servicio de uno de los apoyos al considerarse anómalos; los resultados diferían claramente de los resultados del otro apoyo y no seguían las tendencias generales observadas. Los resultados completos de todos estos ensayos se pueden consultar en las fichas de resultados contenidas en el Anejo H.

En la Tabla IV.1 y la Tabla IV.2 se muestran resultados de inclinación de la fisura/s principal/es en servicio (θ_c), carga de fisuración (V_{cr}), carga horizontal de tesado (T), carga de primera plastificación (V_y), carga máxima (V_u), aberturas de fisura para el 40% de la carga máxima y para la carga de primera plastificación de las armaduras (V_y), y deformaciones de armaduras para el 40% de la carga máxima, para la primera plastificación y para la carga máxima. Las deformaciones de armaduras plastificadas se muestran en negrita, mientras que en los casos en que se pierde el registro de la galga tras su plastificación se usa la codificación 'Y'.

Tabla IV.1: Resumen de resultados (1/2). Series DEB-1.# y DEB-2.#

Test	Ficha nº	θc (°)	Vcr (kN)	P (kN)	Resultados - 40%·Vu						Resultados - 1ª plastificación						Resultados - carga máxima											
					W (mm)	εASH (%)	εASV1 (%)	εASV2 (%)	εASV3 (%)	εASD (%)	Vj (kN)	Vj/Vu (%)	W (mm)	εASH (%)	εASV1 (%)	εASV2 (%)	εASV3 (%)	εASD (%)	Vu (kN)	εASH (%)	εASV1 (%)	εASV2 (%)	εASV3 (%)	εASD (%)				
DEB-1.1 (T1)	<u>1</u>	43	11.9	-	0.54	1.30	1.10	-	-	-	146.3	76%	1.65	2.93	2.79	-	-	-	-	-	-	193.6	Y	Y	-	-	-	
DEB-1.1 (T2)	<u>2</u>	47	12.5	-	0.51	1.44	1.55	-	-	-	122.0	63%	1.11	2.29	2.95	-	-	-	-	-	-	-	(193.6)	Y	Y	-	-	-
DEB-1.2 (T1)	<u>3</u>	50	19.6	-	-	1.35	0.83	-	-	-	106.1	73%	-	2.84	2.36	-	-	-	-	-	-	-	145.8	Y	3.13	-	-	-
DEB-1.2 (T2)	<u>4</u>	58	17.4	-	0.40	1.42	1.09	-	-	-	95.7	72%	0.99	2.84	2.49	-	-	-	-	-	-	-	132.7	Y	7.92	-	-	-
DEB-1.3 (T1)	<u>5</u>	37	13.7	-	0.16	0.72	0.74	-	-	-	77.5	64%	0.70	1.98	3.10	-	-	-	-	-	-	-	121.1	6.35	Y	-	-	-
DEB-1.3 (T2)	<u>6</u>	37	16.4	-	0.18	0.61	0.52	-	-	-	89.5	67%	0.83	1.65	3.10	-	-	-	-	-	-	-	133.0	2.28	Y	-	-	-
DEB-1.4 (T1)	<u>7</u>	48	15.4	-	-	1.62	1.19	-	-	-	118.4	65%	-	2.27	2.51	3.10	2.98	-	-	-	-	-	183.0	4.62	Y	Y	4.92	-
DEB-1.4 (T2)	<u>8</u>	38	16.4	-	0.46	1.87	1.67	1.36	0.34	-	99.5	58%	1.00	2.81	3.10	2.62	1.18	-	-	-	-	-	170.4	Y	Y	Y	4.63	-
DEB-1.5 (T1)	<u>9</u>	48	13.9	-	0.42	1.99	1.87	1.68	0.48	-	69.7	56%	0.68	2.83	2.66	3.01	0.80	-	-	-	-	-	125.3	Y	Y	Y	1.71	-
DEB-1.5 (T2)	<u>10</u>	59	20.4	-	0.37	1.59	1.04	0.63	0.30	-	81.2	65%	0.86	2.80	2.36	1.56	0.70	-	-	-	-	-	(125.3)	Y	Y	Y	1.64	-
DEB-1.6 (T1)	<u>11</u>	45	18.2	-	0.47	1.37	1.76	1.09	0.72	-	193.4	63%	0.81	2.39	2.72	1.83	1.43	-	-	-	-	-	309.2	6.18	Y	Y	7.60	5.58
DEB-1.6 (T2)	<u>12</u>	48	17.5	-	-	1.02	1.57	0.97	0.81	-	163.2	65%	-	1.93	2.73	1.71	1.33	-	-	-	-	-	250.9	3.93	Y	Y	2.94	2.26
DEB-1.7 (T1)	<u>13</u>	52	27.1	-	0.37	1.15	1.64	0.41	0.13	-	118.9	61%	0.71	1.80	2.73	0.80	0.95	-	-	-	-	-	194.4	Y	Y	7.04	1.27	2.12
DEB-1.7 (T2)	<u>14</u>	60	14.5	-	0.46	1.23	1.34	0.54	0.48	-	144.8	77%	1.40	2.56	2.72	1.33	1.09	-	-	-	-	-	188.8	Y	Y	Y	1.94	1.38
DEB-1.8 (T1)	<u>15</u>	45	13.6	-	0.44	1.36	1.73	1.24	0.40	-	126.0	65%	0.79	2.71	2.76	2.10	1.17	-	-	-	-	-	195.3	Y	Y	Y	2.83	-
DEB-1.8 (T2)	<u>16</u>	45	15.4	-	0.40	1.64	1.50	1.70	0.84	-	94.4	47%	0.54	2.69	1.81	1.96	1.07	-	-	-	-	-	199.1	Y	Y	Y	2.98	-
DEB-1.9 (T1)	<u>17</u>	48	19.3	-	0.30	1.09	1.13	0.98	0.13	-	110.5	78%	0.96	2.25	2.71	2.10	0.73	-	-	-	-	-	141.7	Y	Y	Y	5.14	1.26
DEB-1.9 (T2)	<u>18</u>	57	16.5	-	0.31	1.16	1.16	0.74	0.19	-	113.2	78%	1.06	2.55	2.73	2.37	1.29	-	-	-	-	-	145.5	Y	Y	Y	8.06	1.88
DEB-2.1 (T1)	<u>19</u>	44	21.4	-	0.27	0.64	0.57	-	-	1.84	91.9	47%	0.48	0.90	0.85	-	-	2.82	1.94.9	Y	Y	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.1 (T2)	<u>20</u>	50	16.8	-	0.50	0.68	0.79	-	-	2.05	104.6	52%	0.80	1.01	1.31	-	-	2.84	199.6	Y	Y	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.2 (T1)	<u>21</u>	43	14.7	-	0.41	1.09	1.10	-	-	1.59	208.6	65%	0.67	1.64	1.80	-	-	2.73	321.8	6.87	Y	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.2 (T2)	<u>22</u>	45	18.2	-	0.39	0.94	0.88	-	-	1.71	208.5	63%	0.67	1.42	1.40	-	-	2.73	329.8	6.42	8.56	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.3 (T1)	<u>23</u>	42	19.2	-	0.30	1.11	0.96	-	-	1.51	157.3	65%	0.65	2.14	1.80	-	-	2.88	240.5	Y	Y	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.3 (T2)	<u>24</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEB-2.4 (T1)	<u>25</u>	48	21.6	-	0.32	1.17	0.99	-	-	1.49	219.6	70%	0.63	1.88	2.01	-	-	2.75	311.9	Y	16.2	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.4 (T2)	<u>26</u>	43	18.8	-	-	1.04	1.24	-	-	1.48	220.2	71%	-	1.93	2.12	-	-	2.74	309.4	Y	8.6	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.5 (T1)	<u>27</u>	45	18.0	-	0.29	1.63	-	-	-	1.15	197.2	74%	0.60	2.73	-	-	-	2.15	265.1	Y	Y	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.5 (T2)	<u>28</u>	38	16.8	-	0.26	1.85	0.99	-	-	1.48	208.8	71%	0.48	2.73	2.14	-	-	2.52	294.9	Y	Y	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.6 (T1)	<u>29</u>	46	13.8	-	0.38	0.74	1.59	-	-	1.36	179.1	55%	0.60	1.00	2.79	-	-	1.86	328.1	2.20	Y	-	-	-	-	-	-	Y
DEB-2.6 (T2)	<u>30</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla IV.2: Resumen de resultados (2/2). Series DEB-3.# y DEB-4.#

Test	Ficha n°	θ_c (°)	V_{cr} (kN)	P (kN)	Resultados - 40%· V_u					Resultados - 1ª plastificación					Resultados - carga máxima							
					W (mm)	ϵ_{ASH} (%)	ϵ_{ASV1} (%)	ϵ_{ASV2} (%)	ϵ_{ASV3} (%)	ϵ_{ASD} (%)	V_y (kN)	V_y/V_u (%)	W (mm)	ϵ_{ASH} (%)	ϵ_{ASV1} (%)	ϵ_{ASV2} (%)	ϵ_{ASV3} (%)	ϵ_{ASD} (%)	V_u (kN)	ϵ_{ASH} (%)	ϵ_{ASV1} (%)	ϵ_{ASV2} (%)
DEB-3.1 (T1)	31	49/57	24.5	-	0.23	0.92	0.64	-	1.03	245.9	77%	0.54	1.75	2.00	-	2.74	317.9	15.0	7.54	-	-	5.64
DEB-3.1 (T2)	32	33/64	44.0	-	0.25	0.42	0.48	-	1.24	252.8	74%	0.47	1.02	1.63	-	2.75	340.2	2.85	16.4	-	-	Y
DEB-3.2 (T1)	33	34/63	24.5	-	0.23	0.60	0.69	-	1.31	237.6	76%	0.48	1.43	2.01	-	2.73	312.0	8.36	18.4	-	-	Y
DEB-3.2 (T2)	34	24/74	29.7	-	0.22	0.33	0.38	-	1.29	246.3	77%	0.51	1.06	1.52	-	2.73	318.6	Y	12.9	-	-	Y
DEB-3.3 (T1)	35	23	82.4	186.0	0.17	1.21	1.16	-	1.11	274.8	78%	0.59	1.32	2.77	-	2.66	350.4	1.27	Y	-	-	Y
DEB-3.3 (T2)	36	12	63.6	159.4	0.29	1.06	1.04	-	1.35	217.8	65%	0.67	1.22	2.75	-	2.10	336.5	1.34	Y	-	-	Y
DEB-3.4 (T1)	37	-	43.0	-	-	0.77	1.26	0.67	0.57	201.8	77%	-	1.68	2.79	1.82	1.62	261.6	2.76	11.2	2.38	2.17	-
DEB-3.4 (T2)	38	30/51	40.0	-	0.32	0.58	1.00	0.93	0.90	223.7	84%	1.04	1.86	2.78	2.08	1.86	266.1	2.58	8.95	2.77	2.32	-
DEB-3.5 (T1)	39	31/53	36.0	-	0.26	0.79	0.56	-	1.62	216.4	64%	0.48	1.21	1.32	-	2.75	339.8	Y	10.6	-	-	13.9
DEB-3.5 (T2)	40	42/50	29.5	-	-	0.87	0.96	-	1.59	218.9	64%	-	1.35	1.74	-	2.75	342.4	Y	Y	-	-	Y
DEB-3.6 (T1)	41	35/51	27.0	-	0.57	0.83	1.76	1.38	0.70	130.5	57%	0.86	1.17	2.77	2.39	1.64	227.0	Y	15.9	Y	11.19	-
DEB-3.6 (T2)	42	45	27.5	-	0.64	0.97	1.46	0.96	0.74	147.9	67%	1.50	1.91	2.80	2.24	1.71	221.3	Y	Y	9.09	7.28	-
DEB-3.7 (T1)	43	45	22.5	-	0.48	0.89	1.35	1.09	0.75	229.9	69%	0.82	1.62	2.71	1.84	1.50	332.7	Y	Y	Y	Y	-
DEB-3.7 (T2)	44	48	18.8	-	0.54	0.87	1.40	0.92	0.67	215.1	66%	0.96	1.62	2.72	1.76	1.24	328.3	Y	Y	Y	Y	-
DEB-3.8 (T1)	45	46	30.5	-	0.33	0.93	1.94	0.84	0.96	186.4	51%	0.54	1.25	2.72	1.15	1.35	363.3	Y	14.4	Y	Y	-
DEB-3.8 (T2)	46	48	22.2	-	0.62	1.21	1.97	1.23	0.97	184.9	51%	0.85	1.57	2.71	1.69	1.32	361.6	Y	Y	Y	Y	-
DEB-3.9 (T1)	47	49	28.9	-	0.38	0.86	1.54	0.48	0.46	203.2	57%	0.82	1.62	2.72	1.16	0.80	354.5	Y	Y	Y	Y	-
DEB-3.9 (T2)	48	42	25.4	-	0.43	0.99	1.44	1.04	0.86	235.2	64%	0.81	1.86	2.72	1.82	1.57	370.0	Y	Y	15.2	-	-
DEB-3.10 (T1)	49	20	85.2	263.1	0.30	3.84	0.59	-	1.64	224.5	63%	0.54	4.06	1.12	-	2.68	354.9	13.1	-	-	-	Y
DEB-3.10 (T2)	50	14	73.3	208.1	0.29	3.04	1.02	-	1.19	270.4	73%	0.61	3.79	-	-	2.68	370.2	10.2	-	-	-	Y
DEB-3.11 (T1)	51	12	110.0	334.5	0.30	3.20	1.34	-	1.33	247.2	60%	0.51	3.26	2.54	-	2.43	411.2	Y	Y	-	-	Y
DEB-3.11 (T2)	52	3	95.1	343.1	0.25	3.29	1.58	-	1.01	227.9	58%	0.35	3.36	2.56	-	1.66	395.3	5.26	Y	-	-	Y
DEB-3.12 (T1)	53	6	116.3	511.0	0.30	3.67	1.55	-	0.95	233.1	58%	0.44	3.75	2.55	-	1.65	403.9	5.34	Y	-	-	Y
DEB-3.12 (T2)	54	2	77.3	455.7	0.27	3.21	1.58	-	0.86	238.1	58%	0.40	3.25	2.45	-	1.49	413.3	4.19	Y	-	-	Y
DEB-4.1 (T1)	55	34/60	32.7	-	0.31	0.89	1.08	0.96	1.01	224.2	87%	2.09	2.37	2.86	2.01	2.39	258.2	3.74	Y	2.76	2.64	-
DEB-4.1 (T2)	56	48	34.0	-	0.51	0.97	1.29	1.03	0.44	215.2	79%	1.45	2.21	2.79	2.23	1.48	272.9	5.71	4.19	3.35	2.00	-
DEB-4.2 (T1)	57	38/56	21.0	-	0.68	0.99	1.64	1.02	0.77	185.8	69%	1.49	1.84	2.78	1.80	1.58	268.6	3.72	14.7	3.29	3.02	-
DEB-4.2 (T2)	58	27/57	25.0	-	0.71	1.23	1.85	1.09	1.07	185.1	63%	1.32	1.94	2.79	1.77	1.79	291.9	12.4	Y	7.95	3.19	-
DEB-4.3 (T1)	59	41/53	32.5	-	0.72	1.14	1.55	1.57	1.04	147.0	63%	1.41	1.85	2.80	2.47	1.87	231.7	Y	Y	Y	12.7	-
DEB-4.3 (T2)	60	39/47	27.5	-	0.50	1.26	1.16	0.98	0.48	181.5	74%	1.13	2.75	2.22	2.99	2.11	245.9	Y	15.2	15.8	13.2	-

IV.3 Descripción de la fisuración en servicio

La carga de fisuración (V_{cr}), calculada según la metodología detallada en el Anejo G, se muestra en la Tabla IV.1 y la Tabla IV.2. La carga de fisuración depende básicamente de la geometría, de la resistencia a tracción del hormigón y del nivel de pretensado de la armadura horizontal. Puesto que la geometría y las características del hormigón son similares en todas las piezas, en los únicos casos en los que se produce una variación clara de la carga de fisuración es para las piezas con pretensado. En el resto de casos se observa una variabilidad moderada de V_{cr} atribuible a la variabilidad del proceso. El uso de HRFA no modifica la carga de fisuración puesto que la contribución de las fibras previa a la fisuración es reducida para los hormigones empleados.

Por lo que respecta a la fisuración bajo cargas de servicio, en todos los casos la primera fisura aparece en la esquina de las piezas, favorecida por el efecto entalla que supone la discontinuidad geométrica del cambio de canto, generando una concentración de tensiones en esta región. Esta fisura, resaltada en azul para distintas configuraciones en la Fotografía IV.1, es la que tiene una mayor abertura bajo cargas de servicio. Se ha observado que, generalmente, hasta que esta fisura principal no adquiere una abertura en el entorno de 0.3~0.5 mm no comienzan a abrirse otras fisuras cercanas a ella, por lo que, para el rango de aberturas máximas exigidas en servicio, el fenómeno de fisuración se desarrolla fundamentalmente en la fase de formación de fisuras.

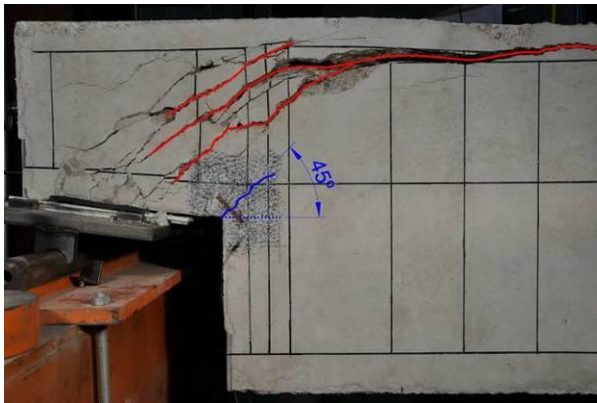
En el caso de las piezas en las que se analiza el efecto de disponer la esquina biselada (DEB-3.1, DEB-3.2, DEB-3.4, DEB-3.5, DEB-3.6), el bisel genera dos entallas, por lo que se induce la generación de dos fisuras en servicio, tal y como se observa en la Fotografía IV.1.f para la pieza DEB-3.2. Sin embargo, en el ensayo DEB-3.6 (T2) se aprecia el desarrollo de una única fisura en la esquina superior del bisel (véase Fotografía IV.1.g). Tal y como se justifica posteriormente en el apartado IV.5.1.7, la generación de una única fisura en una posición descentrada tiene un efecto amplificador sobre su abertura. La generación de una única fisura para DEB-3.6 puede deberse a que en dicha pieza se ha dispuesto un factor de cuantía de armadura inferior a la máxima; la reducción de la cuantía de armadura aumenta la separación mínima entre fisuras, haciendo que pueda no llegar a generarse una segunda fisura para las dimensiones del bisel dispuesto. En consecuencia, en caso de disponerse un bisel cuyo objetivo sea el de dividir la fisura generada en la esquina, éste deberá tener unas dimensiones suficientes en función de la cuantía de armadura de las piezas.

La inclinación de la fisura condicionante en servicio (θ_c) se muestra en la Tabla IV.1 y la Tabla IV.2. En el caso de las piezas biseladas, se muestran dos valores de la inclinación en caso de que se generen dos fisuras en servicio. La inclinación de la abertura de fisura es fundamentalmente dependiente de la configuración de armado dispuesta en las piezas, tendiendo a orientarse perpendicular al tirante más débil. Dado que las piezas tienen un ratio a/d cercano a la unidad la fisura tiende a orientarse en promedio a 45° en los esquemas de armado en que no hay descompensación de los tirantes ortogonales; así tanto para el esquema sin armadura diagonal (O.1), como para los esquemas con armadura diagonal (D.1, D.2, D.3), las inclinaciones varían entre 40° y 50° en la práctica totalidad de estos ensayos (véase Fotografía IV.1.a, d, e, f, g, h). Para las configuraciones

descompensadas (O.2 y O.3), las inclinaciones fueron en promedio de 57° (véase Fotografía IV.1.b) y 37° (véase Fotografía IV.1.c) respectivamente.

De entre las variantes de diseño analizadas (véase apartado III.1.1) sólo el pretensado de la armadura horizontal y el biselado del vértice influyen apreciablemente en el patrón de fisuración en servicio. El pretensado, junto con un tirante horizontal sobredimensionado hacen que la inclinación de la fisura sea muy reducida (inferior a 20°) y menor conforme mayor es la carga de tesado aplicada (véase Fotografía IV.1.i). El biselado, como se ha indicado previamente, tiende a producir dos fisuras en servicio. Las inclinaciones separadas de dichas aberturas no guardan un patrón muy claro, estando fuertemente influenciadas por la inclinación con que se desarrolle la primera fisura; no obstante, el promedio de las inclinaciones de ambas fisuras sigue las tendencias generales observadas para las piezas sin bisel en función de la configuración de armado dispuesta.

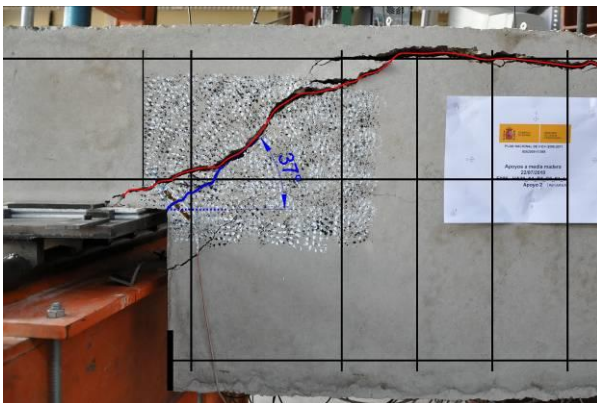
Cabe destacar también la tendencia general a la aparición de fisuras horizontales dispuestas sobre el tirante principal horizontal (A_{SH}) o a que la fisura principal en servicio tienda a orientarse horizontalmente al cruzar dicho tirante, tal y como puede apreciarse con claridad para DEB-2.6 y DEB-3.6 en la Fotografía IV.1.e, g. Dichas fisuras afectan negativamente a las condiciones de adherencia del tirante horizontal. Esta observación justifica el empleo de una adherencia reducida para A_{SH} en los modelos de cálculo de la abertura de fisura (véase apartado VII.2.3).



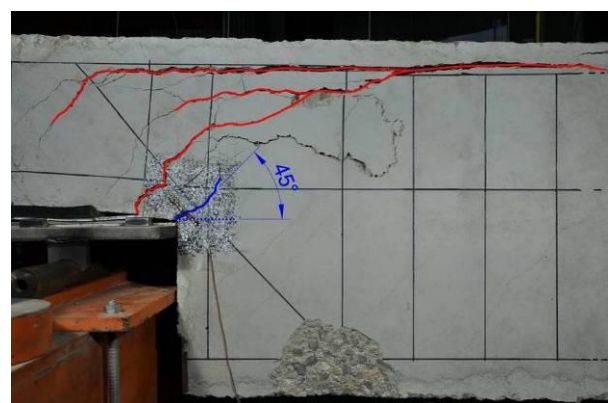
(a) DEB-1.8 (T2)



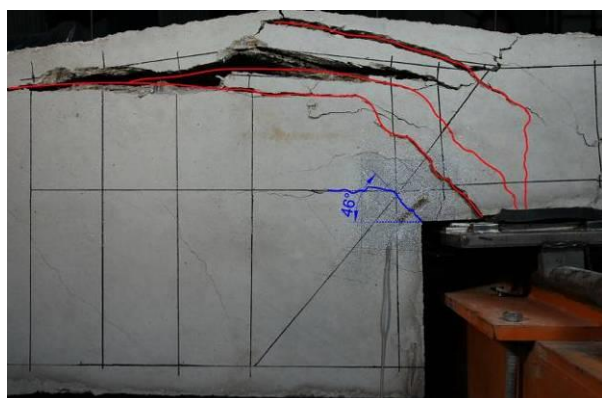
(b) DEB-1.9 (T2)



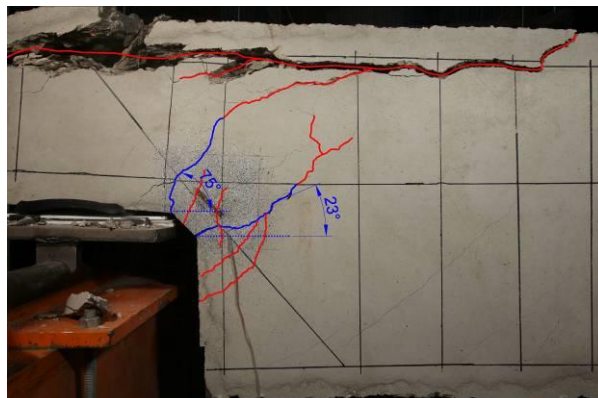
(c) DEB-1.3 (T2)



(d) DEB-2.2 (T2)



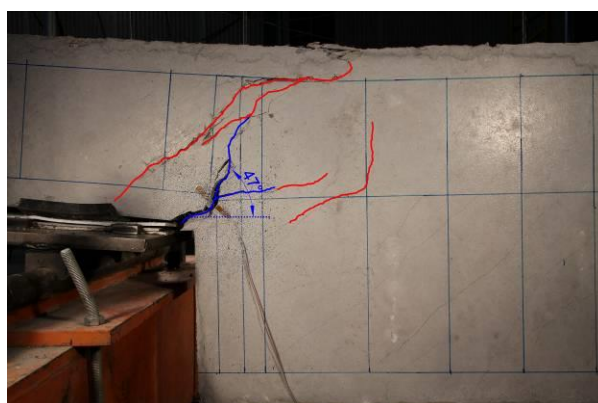
(e) DEB-2.6 (T1)



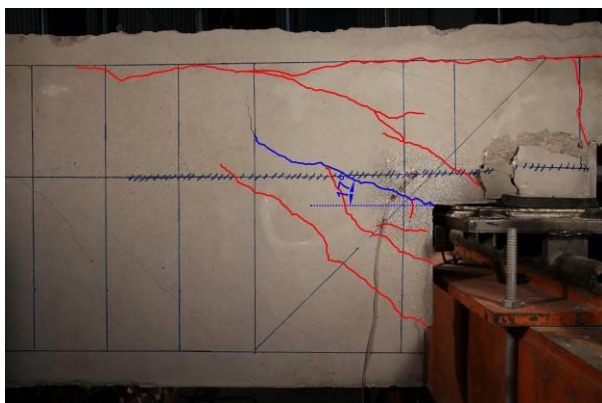
(f) DEB-3.2 (T2)



(g) DEB-3.6 (T2)



(h) DEB-3.8 (T2)



(i) DEB-3.10 (T1)



(j) DEB-4.3 (T1)

Fotografía IV.1: Mapa de fisuración para carga pico o fase post-pico (remarcada en azul la fisuración en servicio)

Los análisis cuantitativos de las aberturas de fisura generadas en la esquina de los AMM se abordan posteriormente en el apartado IV.5.1.

IV.4 Descripción del comportamiento en rotura

En este apartado se describe inicialmente de manera cualitativa el comportamiento de los AMM en el entorno de la rotura, para después categorizar los distintos comportamientos de rotura en una serie de modos de rotura.

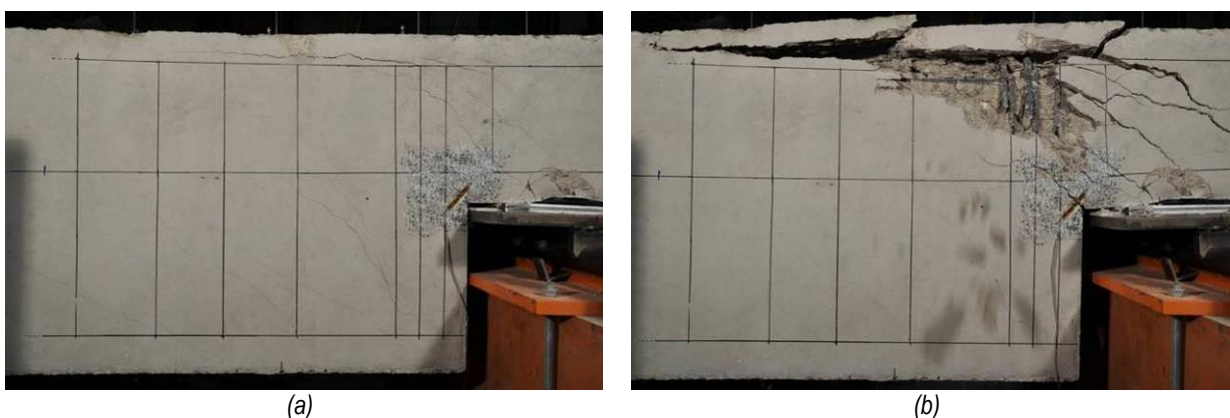
IV.4.1 Descripción cualitativa

Al ir rebasando las cargas de servicio en los AMM se observa la aparición de un nuevo sistema de fisuración diagonal paralelo a la biela que parte de dicho apoyo (patrón de fisuración para cargas superiores a las de servicio resaltado en rojo en la Fotografía IV.1). Dichas fisuras, y en ocasiones también la progresión de las fisuras generadas en servicio en la esquina, llegan hasta la altura de la armadura superior de los AMM donde se produce el desprendimiento del recubrimiento superior de las piezas (spalling). Dicho comportamiento de fallo por spalling concuerda con los resultados previos de otros autores, entre los que cabe destacar los de Cook y Mitchell [43], [44].

La fisuración por spalling (paralela a la armadura superior de las piezas) se observa en la totalidad de las piezas (véase Fotografía IV.1), a excepción de aquellas en las que se dispone HRFA (véase pieza DEB-3.8 en Fotografía IV.1.h). De entre todas las variantes de diseño analizadas se concluye que únicamente el empleo de HRFA elimina el modo de fallo por spalling al incorporarse cierta resistencia a tracción residual en el recubrimiento. Al evitarse dicho modo de fallo se aumenta considerablemente la ductilidad en las piezas fabricadas con HRFA.

Para la pieza DEB-1.3 (Fotografía IV.1.c), en la que se dispone la configuración de armado O.3 con sobredimensionamiento del tirante horizontal (A_{sH}), la fisura generada en servicio en la esquina del AMM se desarrolla como una única fisura crítica que alcanza el primer estribo de cortante de la viga (A_{s3} según denominación detallada en la Figura III.2). Para el resto de las configuraciones de armado la fisuración por spalling afectó la zona nodal generada en la cabeza del tirante vertical (A_{sV}).

Con respecto al proceso de rotura por spalling cabe destacar que se trata de un proceso más o menos súbito dependiendo del ensayo, y que en ocasiones se produce en la fase post-pico del ensayo una vez alcanzada la carga máxima de las piezas; no obstante la fisuración de spalling ya se encuentra desarrollada en todos los casos antes de la carga máxima. En la Fotografía IV.2 se muestra la rotura en el ensayo DEB-1.6 (T1), que se produce de forma muy súbita condicionando la carga máxima.



Fotografía IV.2: Rotura de pieza DEB-1.6 (T1): (a) Instante previo a rotura; (b) Instante posterior a rotura

Como se observa en las tablas de resultados (Tabla IV.1 y Tabla IV.2) en todos los casos la carga máxima de las piezas (V_u) se alcanza previa plastificación de algún tirante de los AMM. Se hace por tanto necesario discernir si es la plastificación de las armaduras la que limita la carga última, siendo el spalling un proceso post-pico o secundario asociado al aumento de la deformabilidad por la

plastificación, o bien es el spalling el proceso que limita la carga máxima de las piezas. En el apartado IV.4.2 se definen los modos de rotura y se establecen los criterios para considerar las roturas limitadas por el spalling.

Puesto que la fisuración por spalling no se desarrolla en servicio no tiene influencia en la durabilidad de las piezas. En la campaña experimental sólo se obtiene su abertura para la carga máxima en aquellas piezas con roturas limitadas por el spalling, resultando una abertura de fisura por spalling de 0.52 mm (IC 95% [0.38-0.65] mm).

IV.4.2 Modos de fallo

La rotura se puede clasificar en todos los casos como una rotura local en la región D, ya que no es un esfuerzo de flexión o de cortante el causante de la rotura, sino una sollicitación tensional compleja. Puesto que en todos los casos la rotura se produce previa plastificación de alguno de los tirantes principales del AMM, se categorizan los siguientes modos de fallo:

- SY: rotura con plastificación de las armaduras
- SY+SP: rotura con plastificación de las armaduras condicionada por el spalling

A esta codificación le acompañarán entre paréntesis los tirantes principales que se encuentren plastificados para la carga máxima por orden de plastificación. En este caso se emplea la codificación V, H, D para los tirantes: $V=A_{sV}$, $H=A_{sH}$, $D=A_{sD}$ (Un nº tras V denota la rama concreta del tirante).

La clasificación de los ensayos como SY+SP, considerando que la rotura está limitada por el spalling, se realiza siempre que se cumplan simultáneamente los siguientes criterios: (i) exista la fisura de spalling para la carga máxima, (ii) se produzca una caída brusca de la carga al alcanzar la carga máxima y (iii) no se haya producido previamente a la carga máxima una estabilización prolongada de la carga. Estos criterios permiten diferenciar de manera consistente los casos en que el spalling es condicionante de la rotura de los que no lo es en ensayos con control de carga por desplazamiento.

Para la aplicación de los criterios (ii) y (iii) se emplean gráficos carga-desplazamiento (véase ejemplo en Figura IV.5) bajo el punto de aplicación de la carga normalizados a los valores obtenidos a la carga máxima (V/V_u) y al desplazamiento bajo carga máxima (d/d_{Vu}).

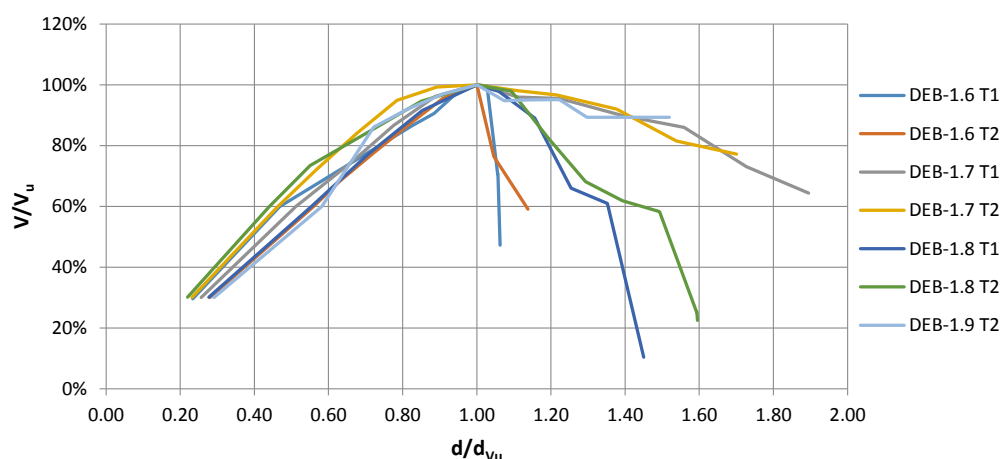


Figura IV.5: Curvas auxiliares carga-desplazamiento bajo actuador para la detección del fallo por spalling

Para los ensayos representados en la Figura IV.5 únicamente los dos ensayos de la configuración DEB-1.6 presentan una caída brusca de la carga, y por tanto son los únicos clasificados como SY+SP.

Con los criterios indicados se obtienen los modos de fallo para los ensayos realizados que se muestran en la Tabla IV.3. En dicha tabla se ha incluido el nº de planos que componen el tirante vertical (n_{AsV}), dado que se ha observado que es una variable fundamental en el proceso de spalling.

Tabla IV.3: Modos de fallo de los ensayos

Espec.	Codificación	n_{AsV}	Modo de fallo (T1)	Modo de fallo (T2)
DEB-1.1	p49/O.1	I	SY+SP (H-V)	SY (V-H)
DEB-1.2	p49/O.2	I	SY+SP (H-V)	SY+SP (H-V)
DEB-1.3	p49/O.3	I	SY (V-H)	SY (V)
DEB-1.4	p49/O.1	III	SY+SP (V2-V1-V3-H)	SY (V1-H-V2-V3)
DEB-1.5	p49/O.2	III	SY (H-V2-V1)	SY (H-V1-V2)
DEB-1.6	p100/O.1	III	SY+SP (V1-H-V2-V3)	SY+SP (V1-H-V2)
DEB-1.7	p100/O.2	III	SY (V1-H)	SY (V1-H)
DEB-1.8	p71/O.1	III	SY (V1-H-V2-V3)	SY (H-V1-V2-V3)
DEB-1.9	p71/O.2	III	SY (V1-H-V2)	SY (V1-H-V2)
DEB-2.1	p49/D.1	I	SY+SP (D-V-H)	SY (D-V-H)
DEB-2.2	p100/D.1	I	SY+SP (D+V+H)	SY (D+V+H)
DEB-2.3	p71/D.1	I	SY+SP (D-H-V)	(*)
DEB-2.4	p100/D.2	I	SY+SP (D-V-H)	SY+SP (D-V-H)
DEB-2.5	p100/D.3	I	SY+SP (H-D)	SY+SP (H-D-V)
DEB-2.6	p100/D.4.1	I	SY+SP (V-D)	SY+SP (V-D-H)
DEB-3.1	p100/D.2/B	I	SY+SP (D-V-H)	SY+SP (D-V-H)
DEB-3.2	p100/D.3/B	I	SY+SP (D-V-H)	SY+SP (D-V-H)
DEB-3.3	p100/D.4.1/Ph	I	SY+SP (V-D)	SY+SP (V-D)
DEB-3.4	p100/O.1/B	III	SY+SP (V1)	SY+SP (V1-V2)
DEB-3.5	p100/D.1/B	I	SY+SP (D-V-H)	SY+SP (D-V-H)
DEB-3.6	p71/O.1/B	III	SY (V1-V2-V3-H)	SY+SP (H-V2-V1-V3)
DEB-3.7	p100/O.1/F40	III	SY (V1-V2-H-V3)	SY (V1-V2-H-V3)
DEB-3.8	p100/O.1/F70	III	SY (V1-V3-V2-H)	SY (V1-V2-H-V3)
DEB-3.9	p100/O.1/F100	III	SY (V1-H-V2-V3)	SY (V1-H-V2)
DEB-3.10	p100/D.4.4/Ph	I	SY+SP (D-H)	SY+SP (D-H)
DEB-3.11	p100/D.4.3/Ph	I	SY+SP (V-D-H)	SY+SP (V-D-H)
DEB-3.12	p100/D.4.2/Ph	I	SY+SP (V-D-H)	SY+SP (V-D)
DEB-4.1	p100/O.1/B+SR1	III	SY (V1-H)	SY (V1-V2-H)
DEB-4.2	p100/O.1/B+SR2	III	SY (V1-V2-H-V3)	SY (V1-H-V2-V3)
DEB-4.3	p71/O.1/B+SR1	III	SY (V1-V2-H-V3)	SY (V2-H-V3-V1)

(*) En el ensayo DEB-2.3 (T2) se produjo un fallo prematuro dado que la región D estaba dañada por el daño en la biela de descarga al apoyo intermedio en el ensayo (T1)

Del análisis de los modos de fallo obtenidos en la campaña experimental se extraen las siguientes conclusiones:

- Las roturas condicionadas por spalling (SY+SP) tienden a producirse en los casos en que el tirante vertical (A_{sv}) se dispone concentrado en un único plano.
- Los niveles elevados de cuantía de armadura facilitan la rotura por spalling, de forma que aun disponiéndose A_{sv} en 3 planos se producen roturas por spalling para el nivel de cuantía de armado superior ($p100$).
- El empleo de armaduras secundarias no elimina la fisuración por spalling, pero la retrasa, favoreciendo que se den modos de fallo más dúctiles no condicionados por spalling.

IV.5 Discusión de resultados

IV.5.1 Aberturas de fisura en servicio

Para realizar análisis comparativos de las aberturas de fisura respecto a la carga aplicada es necesario determinar previamente el nivel de carga de servicio para el cual deberán de satisfacerse los requerimientos de aberturas de fisura. Se considera un rango de entre el 40% y el 60% de la carga máxima experimental (V_u) como el rango más habitual para el umbral de servicio. Dicho valor depende fundamentalmente del tipo de estructura y de la relación entre cargas permanentes y variables, habiéndose estimado mediante el cociente r_s/γ_s , donde r_s representa el cociente entre la carga de diseño para ELS de fisuración y la carga de diseño para ELU, y γ_s el coeficiente de seguridad para la plastificación del acero.

Las aberturas de fisura empleadas en los siguientes análisis son las resultantes de promediar los resultados obtenidos para los dos ensayos de una misma configuración, en aquellos casos en los que ambos ensayos están disponibles (véase detalle de ensayos descartados por ensayos o resultados anómalos en apartado IV.2).

IV.5.1.1 Evolución de la abertura de fisura con la distancia al borde

Tal y como se indicó en el apartado IV.1.2, los resultados de aberturas de fisura mostrados en el presente documento se corresponden con las aberturas de fisura máximas en el borde de las piezas ($w=w_{max}=CMOD$). Fruto del análisis fotogramétrico, en la Figura IV.6.a se representa la evolución de la abertura de fisura con la profundidad para distintos niveles de carga para la pieza DEB-1.6. Se observa que la abertura de fisura aumenta de forma considerable en el recubrimiento. Resulta por tanto fundamental para el análisis de las aberturas de fisura en los AMM especificar claramente dónde se realiza la medición de dichas aberturas.

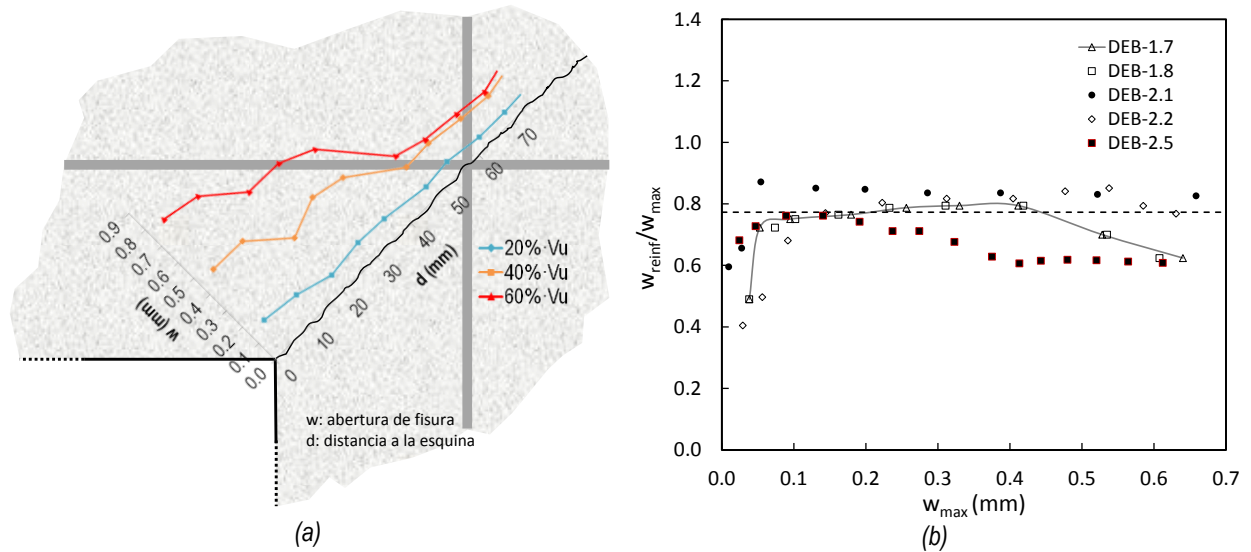


Figura IV.6: Influencia de abertura de fisura con la distancia al borde de la pieza: (a) Representación DEB-1.6 (T1); (b) Ratio entre abertura de fisura a la altura de la armadura y abertura máxima

En la Figura IV.6.b se muestra, para distintas piezas y aberturas de fisura, el cociente entre la abertura de fisura a la altura de la armadura (w_{reinf}) y la abertura de fisura máxima en el borde de la pieza (w_{max}). Se observa en general la tendencia remarcada con línea continua para el ensayo DEB-1.7, con tres fases claramente diferenciadas:

- Fase de progreso de la fisura principal: la fisura va progresando en profundidad en la pieza y el cociente w_{reinf}/w_{max} aumenta muy rápidamente.
- Fase de abertura de la fisura principal: la fisura está prácticamente estabilizada en su longitud, por lo que los incrementos de la abertura de la fisura son proporcionales a lo largo de toda la fisura. Se observa que el cociente w_{reinf}/w_{max} permanece sensiblemente estable, con un promedio de 0.77.
- Fase de aparición de fisuras cercanas: a partir de unos 0.3~0.5 mm la relación entre aberturas de fisura deja de ser estable debido a la formación de fisuras cercanas que afectan de manera desigual a las aberturas de fisura a la altura de las armaduras y en el borde de las piezas.

Para el rango de aberturas admisibles en servicio, la fisura se desarrolla fundamentalmente en la segunda de las fases. En ella el cociente w_{reinf}/w_{max} es estable y similar entre los distintos ensayos. En base a estas observaciones se define con carácter orientativo la siguiente relación entre la abertura de fisura a la altura de las armaduras (w_{reinf}) y la abertura de fisura máxima (w_{max}):

$$w_{reinf} = 0.77 \cdot w_{max} \quad (IV.1)$$

La ausencia de resultados de w_{reinf} y w_{max} para otros estudios imposibilita analizar la influencia que tiene la geometría de las piezas, incluyendo el espesor del recubrimiento, en el cociente w_{reinf}/w_{max} .

IV.5.1.2 Dispersión del proceso

La replicación de ensayos para cada una de las configuraciones ensayadas permite analizar la variación de resultados, aberturas de fisura en este caso, entre piezas idénticas. Éste análisis da una idea de la dispersión del proceso de fisuración en sí, junto con los errores cometidos en su determinación. Para ello, en la Figura IV.7, se representan los dos resultados de aberturas de fisura (w_i) para cada pieza gemela respecto al promedio de ambas aberturas de fisura (w_{avg})¹². Se han incluido en éste análisis los estudios previos de otros dos autores que también disponían de replicación de resultados de aberturas de fisura (Clark y Thorogood [46], Herzinger [4], [32]). Se observa que la dispersión obtenida en el presente estudio es similar a la obtenida por otros autores. En comparación con la dispersión observada en las cargas de rotura (véase apartado IV.5.3.1), la dispersión en el fenómeno de las aberturas de fisura es mucho más elevada.

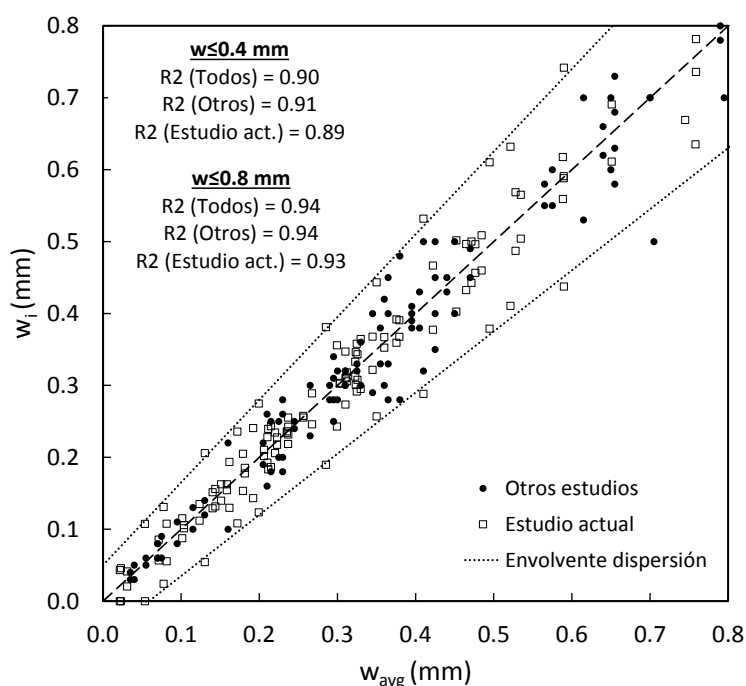


Figura IV.7: Dispersión de aberturas de fisura en ensayos con replicación

La envolvente representada en la Figura IV.7 [$w \pm (0.05 \text{ mm} + 15\% \cdot w)$] engloba de manera bastante aproximada la dispersión máxima del fenómeno de fisuración para todos los niveles de apertura de fisura y se empleará como referencia gráfica para establecer la bondad de los procedimientos que posteriormente se proponen en el Capítulo VII para determinar la apertura de fisura. Además de esta referencia gráfica se toma como parámetro identificativo de la dispersión de la apertura de fisura el coeficiente de determinación (R^2). En la Figura IV.7 se muestran los resultados de dicho coeficiente para aberturas de fisura de hasta 0.4 y 0.8 mm. El coeficiente de determinación es inferior conforme menor sea la apertura de fisura considerada.

¹² No se incluyen en este análisis los resultados de las piezas en que se han descartado los resultados de uno de los dos apoyos por ser estos anómalos.

IV.5.1.3 Influencia de la cuantía de armado

La influencia de la cuantía de armado se estudia en la campaña experimental sobre tres esquemas de armado distintos (O.1, O.2 y D.1). En la Figura IV.8.a (parte izquierda) se representa la evolución de la abertura de fisura en función de la carga en el apoyo. Se representan con líneas verticales la carga correspondiente al 40% de la carga máxima de cada configuración. Como es previsible, en todas las configuraciones, para una determinada carga, la abertura de fisura se reduce conforme aumenta la cuantía de armadura.

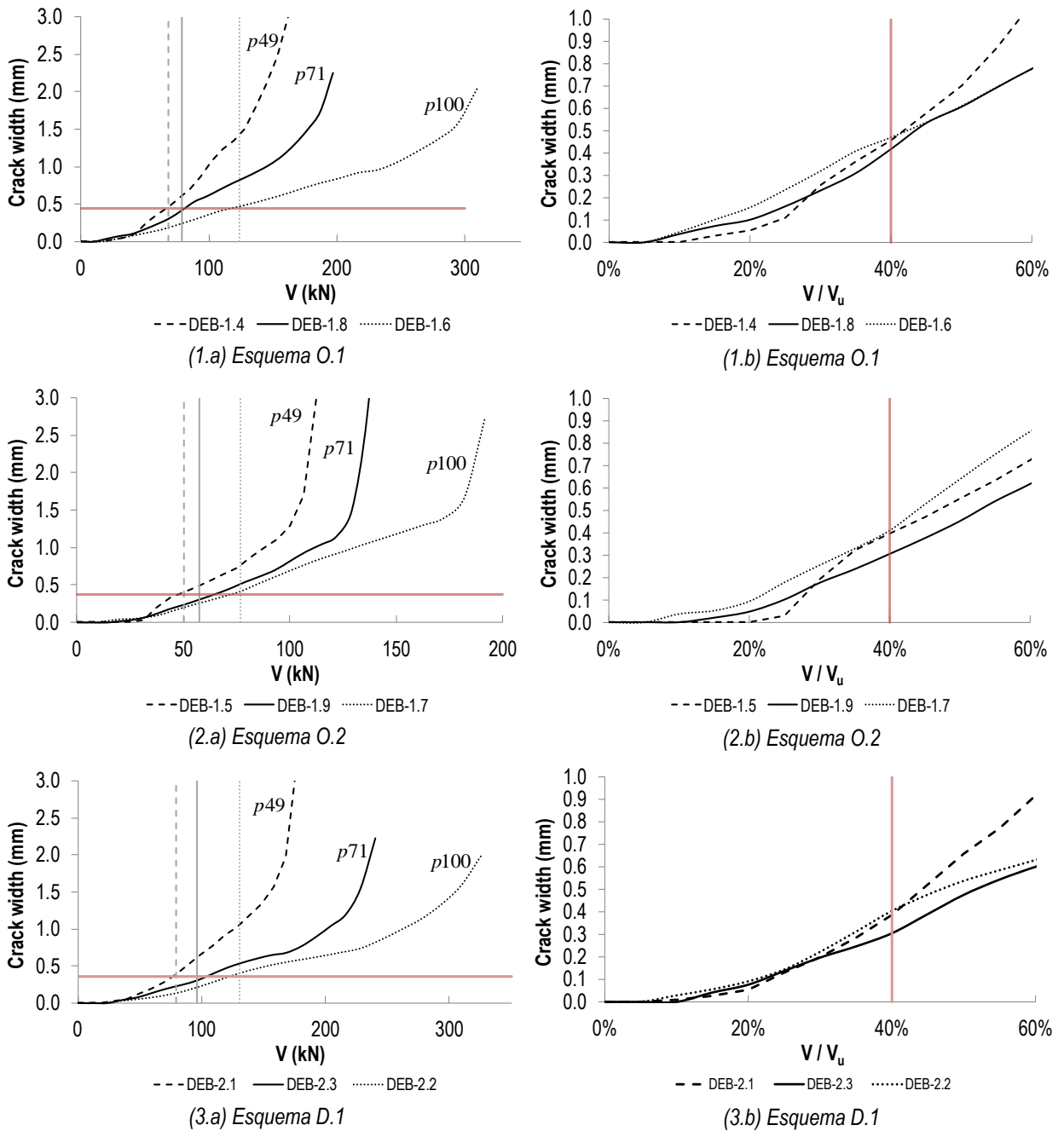


Figura IV.8: Influencia de la cuantía de armadura en la abertura de fisura: (a) referida a la carga en el apoyo; (b) referida al nivel de carga relativo a la carga máxima

Al representar la abertura de fisura en función de la carga relativa a la carga máxima del ensayo, véase Figura IV.8.b (parte derecha), se observa que los resultados en el entorno del umbral de servicio anteriormente especificado son similares para los distintos niveles de cuantía de armado en todos los esquemas de armado, con una dispersión achacable al propio proceso de fisuración. Para porcentajes de la carga última más bajos ($20\% \cdot V_u$), sí que se observan diferencias dado que la carga de fisuración permanece constante en valores absolutos para las distintas cuantías (véase apartado IV.3).

Las aberturas de fisura para el nivel más bajo del umbral de servicio ($40\% \cdot V_u$), son superiores a 0.40 mm para el esquema de armado O.1 y superiores a 0.30 mm para los esquemas O.2 y D.1. Dichos valores son excesivos en términos de durabilidad. Se concluye por tanto que las limitaciones de abertura de fisura en servicio son más restrictivas que las de agotamiento en disposiciones habituales de AMM como las ensayadas. En este caso resulta necesario sobredimensionar los tirantes diseñados en Estado Límite Último (ELU) para garantizar los límites normativos de aberturas de fisura prescritos para el Estado Límite de Servicio (ELS) de fisuración.

IV.5.1.4 Influencia del esquema de armado: configuraciones ortogonales

En la Figura IV.9 se muestra, para los tres factores de cuantía de armado, el efecto del sobredimensionamiento de la armadura vertical en la configuración O.2 ($\alpha=0.60 / \beta=1.00$) frente a la configuración de referencia O.1 ($\alpha=1.00 / \beta=1.00$).

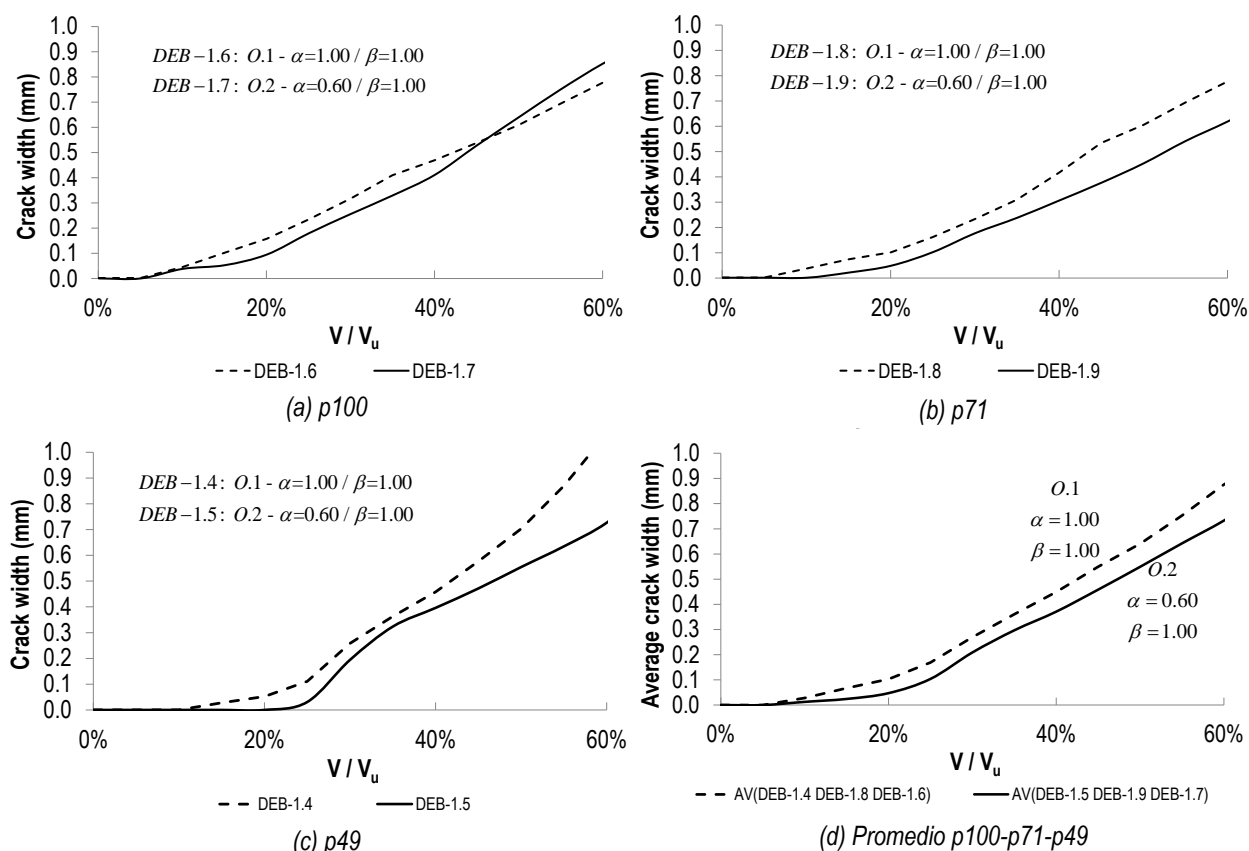


Figura IV.9: Influencia de la configuración de armado ortogonal en la abertura de fisura: O.1 vs O.2

En los tres casos en que se comparan ambas configuraciones (véase Figura IV.9.a-c) se observa que las aberturas de fisura asociadas a la configuración O.2 (líneas continuas) son inferiores a las de la configuración O.1 para un mismo nivel de carga. En la Figura IV.9.d se promedian¹³ los resultados para las distintas cuantías de armadura, obteniéndose una reducción de la abertura de fisura de un 20% (0.10 mm) para un sobredimensionamiento del tirante vertical del 67%.

El efecto de sobredimensionar el tirante horizontal se analiza mediante la configuración O.3 ($\alpha=1.00 / \beta=0.40$), en la que se reduce el tirante vertical respecto a la configuración de referencia O.1. La reducción de la abertura de fisura para un determinado nivel de carga es en este caso muy elevada (Figura IV.10). La reducción observada en porcentajes de la carga última es debida fundamentalmente a la importante reducción de la carga última que supone la fuerte disminución de armadura vertical en esta configuración y por tanto a la mayor contribución relativa del hormigón en tracción.

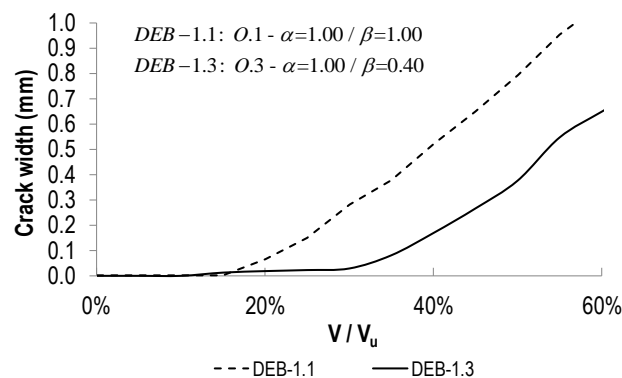


Figura IV.10: Influencia de la configuración de armado ortogonal en la abertura de fisura: O.1 vs O.3

En la Tabla IV.4 se analiza la abertura de fisura para una carga constante de 60 kN. Se observa que una reducción del 40% en la armadura horizontal (O.2) induce fisuras de una abertura superior a las que se producen con una reducción del 60% en la armadura vertical (O.3) y que una reducción importante en la armadura vertical conduce a un aumento reducido de la abertura de fisura.

Tabla IV.4: Influencia de configuraciones de armado ortogonales en abertura de fisura a 60 kN

Espec.	Configuración de armado	w (mm)
DEB-1.1	O.1 - $\alpha=1.0 / \beta=1.0$	0.31
DEB-1.2	O.2 - $\alpha=0.6 / \beta=1.0$	0.46
DEB-1.3	O.3 - $\alpha=1.0 / \beta=0.4$	0.38

Los resultados anteriores permiten extraer las siguientes conclusiones en relación a los esquemas de armado:

- El sobredimensionamiento de los tirantes principales en cualquiera de las direcciones tiende a reducir las aberturas de fisura en servicio; el aumento de la carga última es inferior a la mejora producida en las aberturas de fisura.

¹³ El uso de valores promedio se fundamenta en el supuesto de que el factor de cuantía de armado "p" no afecta a la abertura de fisura para un determinado porcentaje de la carga última, según el análisis realizado en el apartado IV.5.1.3.

- Sobredimensionando un 67% la armadura vertical se reduce un 20% la abertura de fisura para el nivel de carga de servicio.
- El sobredimensionamiento de la armadura horizontal es claramente más efectivo para reducir la abertura de fisura que el de la armadura vertical. Es decir, la armadura horizontal (A_{sH}) es más eficiente que la vertical (A_{sV}) para el control de la fisuración.

Por otra parte, no se observa diferencia alguna respecto a la abertura de fisura en servicio entre disponer el tirante vertical (A_{sV}) concentrado en un único plano o distribuido en tres planos. En base a esta observación y dado que la distribución en varios planos sí tiene un efecto beneficioso en la reducción del modo de fallo por spalling (véase apartado IV.4.2), resulta aconsejable dicha disposición constructiva.

IV.5.1.5 Influencia del esquema de armado: presencia de la armadura diagonal

La Figura IV.11 muestra, para los tres factores de cuantía de armado, la comparación de aberturas de fisura entre el esquema ortogonal de referencia O.1 ($\alpha=1.00 / \beta=1.00$) y el esquema mixto D.1 con una contribución del esquema resistente diagonal de aproximadamente el 40% ($\alpha=0.58 / \beta=0.58 / \gamma=0.43$). En todos los casos (véase Figura IV.11.a-c) las aberturas de fisura de las piezas con armadura diagonal (piezas con armadura diagonal representadas con líneas continuas) son inferiores a las de las piezas que disponen sólo armaduras ortogonales.

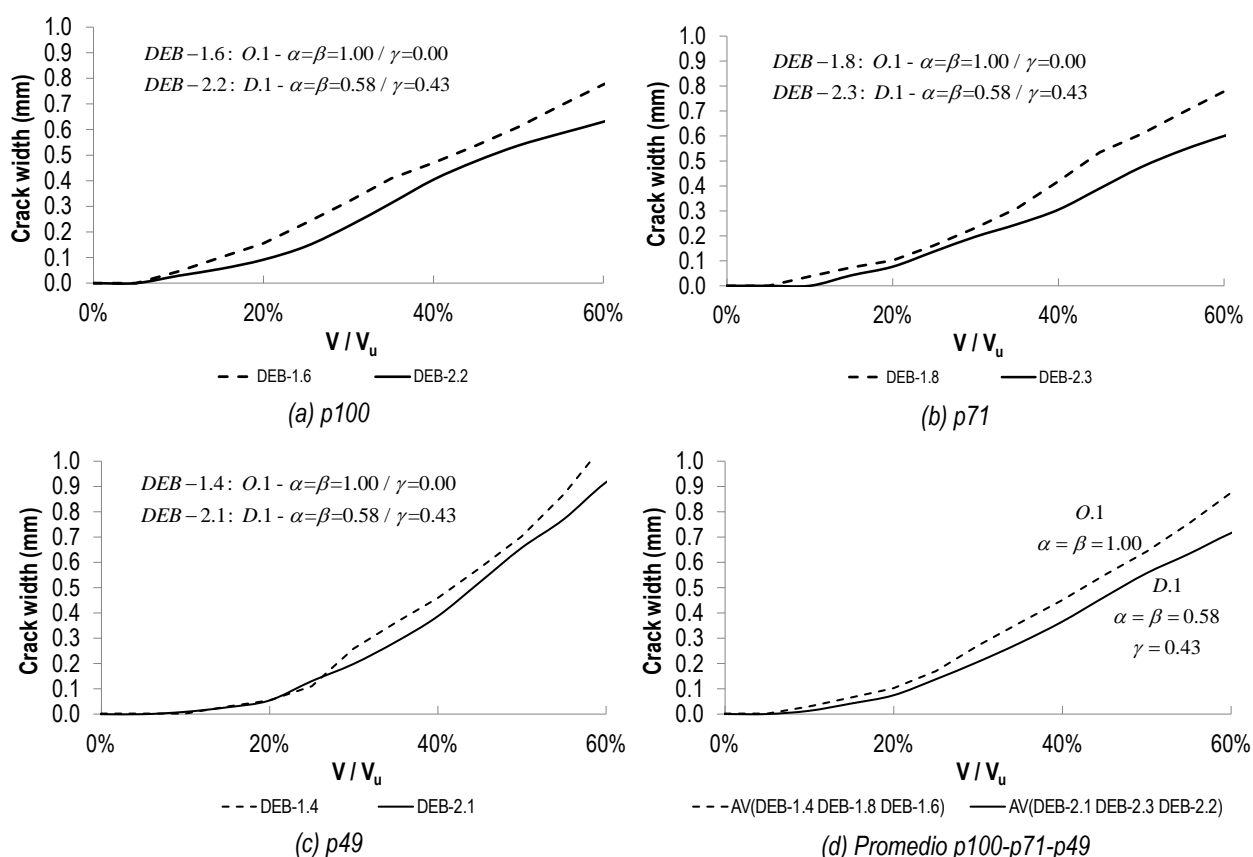


Figura IV.11: Influencia de la presencia de armadura diagonal en la abertura de fisura: O.1 vs D.1

De manera análoga a como se realizó en el apartado IV.5.1.4, en la Figura IV.11.d se muestran los resultados promediados para las distintas cuantías de armadura. La sustitución de un 40% de la capacidad resistente de las armaduras ortogonales por armadura diagonal reduce las aberturas de servicio alrededor del 20%, lo cual representa 0.10 mm para el nivel de carga de servicio.

IV.5.1.6 Influencia del esquema de armado: importancia de la armadura diagonal

Además de la influencia positiva en la fisuración de la presencia de armadura diagonal, para la mayor cuantía de armadura se analiza la influencia de distintas distribuciones entre el mecanismo resistente diagonal y el ortogonal. En la Figura IV.12 se muestran los resultados de las configuraciones D.1, D.2 y D.3 con unas contribuciones aproximadas del mecanismo resistente diagonal del 40%, 60% y 80% respectivamente. Se observa que para cargas superiores al 30% de la carga última, la abertura de fisura se reduce conforme aumenta la importancia del esquema diagonal. La sustitución de un 80% de la capacidad resistente de las armaduras ortogonales por armadura diagonal reduce las aberturas de servicio alrededor del 40% para el nivel de carga de servicio, lo cual representa alrededor de 0.20 mm.

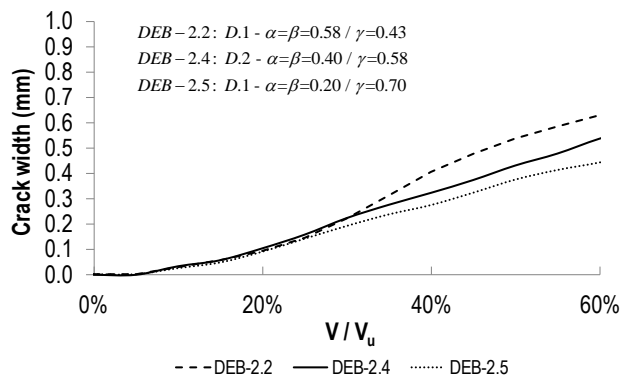


Figura IV.12: Influencia de la importancia de la armadura diagonal en la abertura de fisura: D.1 vs D.2 vs D.3

IV.5.1.7 Influencia de variantes de diseño: biselado del vértice

Se estudia a continuación la influencia de las variantes de diseño ensayadas en la campaña experimental. Cabe recordar que sólo la disposición de armadura secundaria se realiza con la finalidad de mejorar exclusivamente el comportamiento en rotura; el resto de variantes de diseño (biselado del vértice, pretensado del tirante horizontal y empleo de hormigón con fibras de acero (HRFA) se plantean para analizar su influencia en la abertura de fisura en servicio.

Por lo que respecta al biselado del vértice, en la Figura IV.13 se muestran, para cinco disposiciones de armado distintas, comparaciones de resultados de aberturas de fisura para piezas idénticas con y sin biselado. Como se describió en el apartado IV.3, el biselado tiende a inducir generalmente la aparición de dos fisuras. En caso de producirse dos fisuras, en el análisis de los resultados se toma, para cada nivel de carga, la fisura de mayor abertura.

Para los cuatro esquemas de armado ensayados con la mayor cuantía de armado (Figura IV.13.a-d) el biselado del vértice reduce entre un 20% y un 35% la abertura de fisura máxima en el entorno del umbral de servicio definido. La reducción es más alta conforme aumenta la importancia del esquema resistente ortogonal en relación al diagonal.

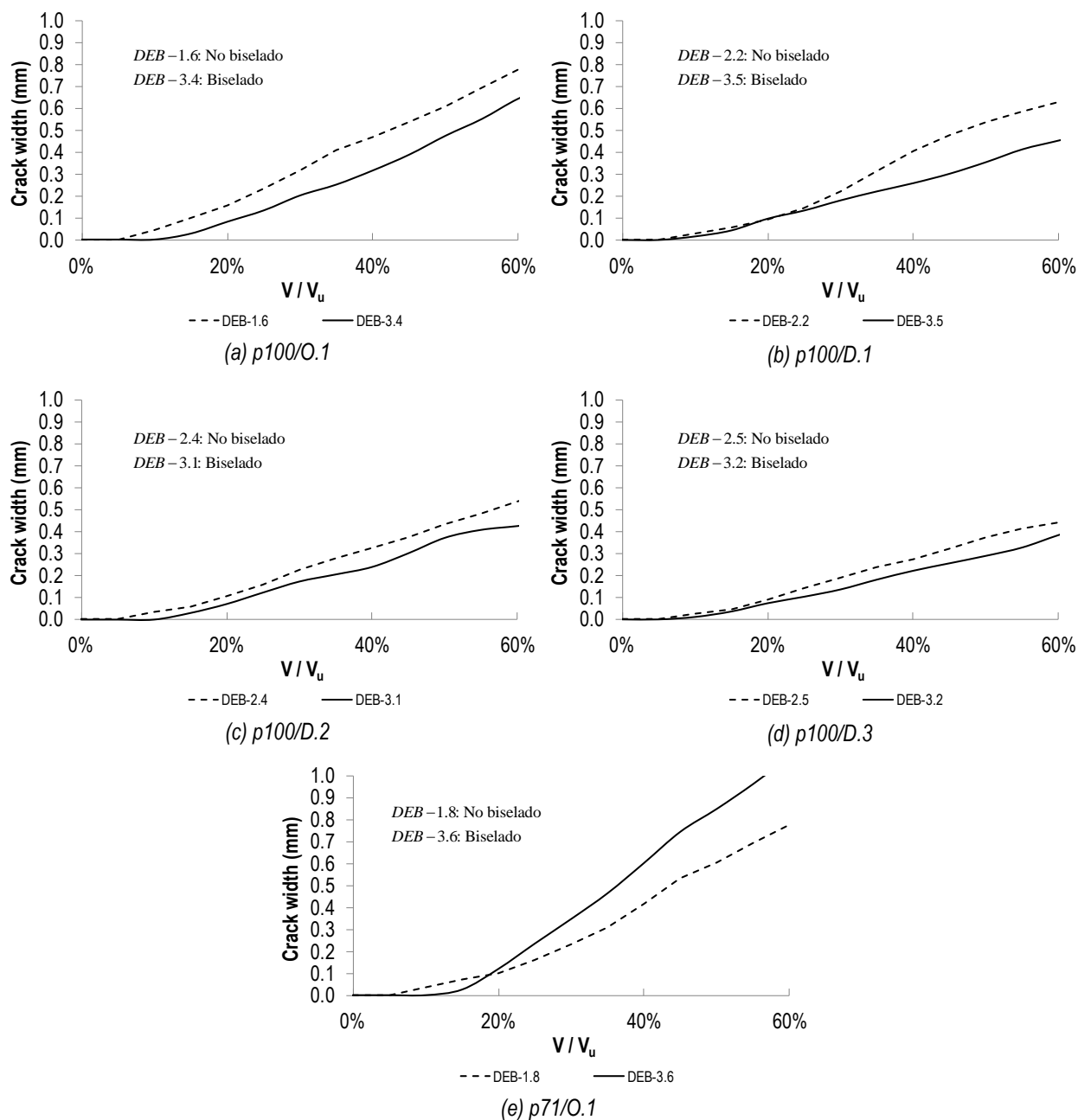


Figura IV.13: Influencia del biselado del vértice en la abertura de fisura

Es lógico que la generación de dos fisuras no llegue a reducir la abertura al 50%, como cabría esperar en el caso teórico de que se generasen dos fisuras con la misma inclinación y con una separación entre ellas muy reducida. En la realidad las fisuras generadas tienen distinta inclinación y están separadas unos centímetros, por lo que se genera entre ellas un deslizamiento relativo entre el hormigón y la armadura que hace que cada fisura aumente respecto al caso teórico anterior.

En la pieza DEB-3.6 se ha observado (véase apartado IV.3) la aparición de una única fisura en el bisel para el nivel de carga de servicio. En la Figura IV.13.d se muestra que en este caso concreto la abertura de fisura para el nivel de servicio no solo no se reduce respecto a la pieza equivalente sin bisel (DEB-1.8), sino que aumenta. Dicho aumento tiene su explicación en el hecho de que la única fisura

producida en esta pieza biselada se genera en una posición distinta (véase Figura IV.14). En la pieza sin bisel la fisura cruza la armadura vertical y horizontal aproximadamente a la vez, estando coaccionada por dos armaduras cerca de su arranque. Por el contrario, en la pieza biselada la fisura cruza inicialmente la armadura horizontal y a una distancia considerablemente superior la vertical. La fisura en este último caso está menos restringida por la armadura vertical y consecuentemente su abertura es superior.

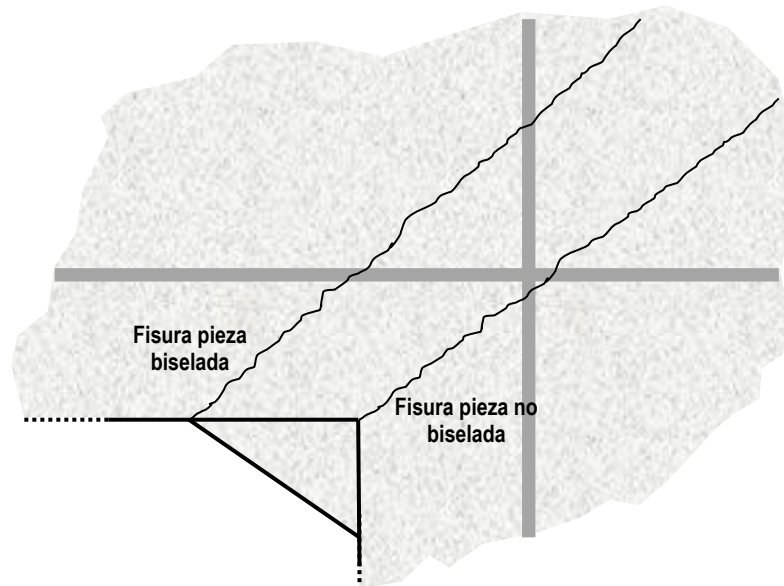


Figura IV.14: Posición de fisuras en piezas p71/O.1 (DEB-1.8, DEB-3.6)

Se concluye que la disposición de un bisel en la esquina de las piezas reduce entre un 20% y un 35% las aberturas de fisura en servicio. Las mayores reducciones se dan en piezas sin armadura diagonal. Sin embargo, resulta fundamental determinar la geometría del bisel de acuerdo a la cuantía de armadura dispuesta, de manera que se garantice la generación de dos fisuras; en caso contrario el bisel tiene un efecto negativo sobre la abertura de fisura.

IV.5.1.8 Influencia de variantes de diseño: pretensado del tirante horizontal

Por lo que respecta al pretensado del tirante horizontal, la pieza DEB-3.3 pretensada con armadura convencional admite una comparativa directa con la pieza DEB-2.6 que dispone la misma configuración de armado pero sin pretensado (véase Figura IV.15.a). El aumento de la carga de fisuración hace que la fisura se reduzca muy considerablemente, en el entorno del 40% para el umbral de servicio.

Las piezas DEB-3.10, DEB-3.11 y DEB-3.12 se pretensan con armaduras Dywidag y permiten analizar el efecto de distintos niveles de fuerza de pretensado (P), al mantenerse aproximadamente la tensión de tesado (σ_P) y modificarse el área A_{sH} de armadura ($P = \sigma_P \cdot A_{sH}$). En la Figura IV.15.b se muestran los resultados de aberturas de fisura, no apreciándose diferencias si se mantiene la tensión de tesado y se aumenta el área de la armadura. Como referencia, en la Figura IV.15 se muestra el ratio entre la carga de pretensado y el área de la sección de la pieza sobre el apoyo ($P/A' = P/(b \cdot h)$).

Tampoco se aprecian diferencias entre los resultados de aberturas de fisura expresados en función de la carga relativa al valor último de cada pieza entre la pieza pretensada con armadura convencional (DEB-3.3), con el nivel más bajo de tesado, y las diferentes piezas pretensadas con armadura Dywidag.

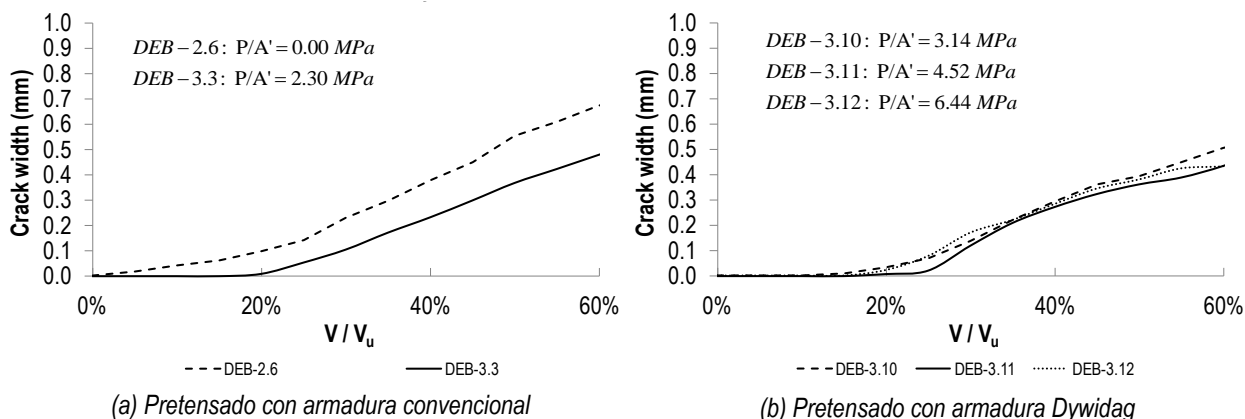


Figura IV.15: Influencia del pretensado de la armadura horizontal en la abertura de fisura

Los resultados anteriores permiten concluir que la aplicación de una tensión de tesado a la armadura horizontal reduce considerablemente la abertura de fisura como consecuencia directa del incremento de la carga de fisuración. Al pretensarse esta armadura la fisura tiende a hacerse horizontal, con lo que la abertura de fisura queda condicionada por la armadura vertical; esto justifica que sucesivos incrementos de la fuerza de tesado a partir de un determinado umbral mínimo no sean prácticamente efectivos en la reducción de la abertura de fisura.

IV.5.1.9 Influencia de variantes de diseño: hormigón con fibras de acero

La última variante de diseño por analizar es el empleo de HRFA con distintas cuantías de fibras. La posible influencia de la mejora en el comportamiento a tracción del hormigón que aporta el uso de fibras se analiza para la configuración de armado p100/O.1.

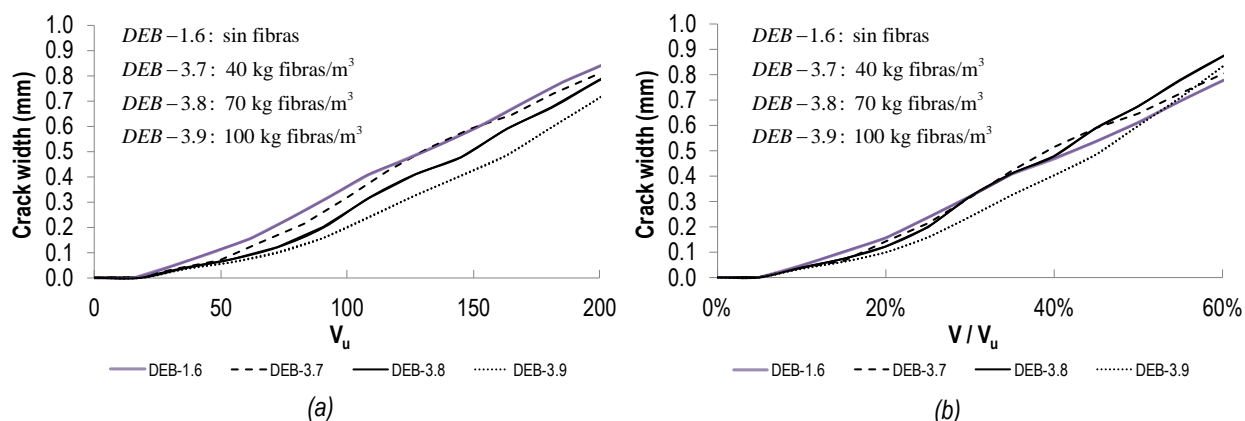


Figura IV.16: Influencia del empleo de HRFA en la abertura de fisura: (a) Comparativa con cargas absolutas; (b) Comparativas con cargas relativas a la carga máxima

En la Figura IV.16.a se muestran las aberturas de fisura en función de la carga aplicada. Puede apreciarse, teniendo en cuenta la dispersión del proceso (véase apartado IV.5.1.2), que existe una

tendencia clara a reducirse la abertura de fisura con la incorporación de fibras. La reducción es tanto mayor cuanto mayor es la cuantía de fibras. Para una carga de 110 kN, la abertura de fisura para el HRFA con 100 kg/m³ de fibras se reduce más de un 40% respecto al hormigón convencional (véase Tabla IV.5).

Tabla IV.5: Influencia de HRFA en la abertura de fisura a 110 kN

Espec.	Tipo de hormigón	w (mm)
DEB-1.6	Convencional	0.42
DEB-3.7	HRFA – 40 kg/m ³	0.39
DEB-3.8	HRFA – 70 kg/m ³	0.33
DEB-3.9	HRFA – 100 kg/m ³	0.24

Si se analiza la abertura de fisura respecto a la carga relativa a la carga máxima alcanzada por cada pieza (véase Figura IV.16.b) no se observa una influencia clara del empleo de HRFA. Este resultado se explica porque la mejora inducida por el empleo de HRFA en la fisuración en servicio para las piezas estudiadas es equivalente al aumento que las fibras producen en la carga última.

IV.5.1.10 Síntesis

Como síntesis del análisis de los resultados de aberturas de fisura en servicio cabe destacar:

- El aumento de la cuantía de armadura disminuye la abertura de fisura, pero no se observan cambios apreciables en las aberturas para el nivel de carga de servicio (relativo a la carga máxima).
- El sobredimensionamiento de los tirantes principales en una de las direcciones tiende a reducir las aberturas de fisura en servicio. Sobredimensionando un 67% la armadura vertical se reduce un 20% la abertura de fisura para el nivel de carga de servicio. El sobredimensionamiento de la armadura horizontal es claramente más efectivo.
- No se observa diferencia alguna respecto a la abertura de fisura en servicio entre disponer el tirante vertical (A_{sv}) concentrado en un único plano o distribuido en tres planos, siendo por tanto aconsejable distribuirlo para reducir el modo de fallo por spalling.
- El empleo de armadura diagonal reduce sobre un 20% las aberturas de fisura en servicio para una contribución del esquema resistente diagonal del 40%. La reducción se incrementa cuanto mayor sea la importancia del esquema resistente diagonal respecto al ortogonal, llegándose a una reducción del 40% de la abertura para una contribución del 80%.
- El biselado de la esquina de los AMM reduce en el entorno de un 30% las aberturas de fisura en servicio.
- Debe determinarse la geometría del bisel de manera que se garantice la generación de dos fisuras, ya que en caso contrario el bisel tiene un efecto negativo sobre la abertura de fisura.
- El pretensado de la armadura horizontal, aún con un nivel de tesado bajo, reduce considerablemente la abertura de fisura para el nivel de carga de servicio, pero no se observan

reducciones apreciables en las aberturas para el nivel de carga de servicio (relativo a la carga máxima) cuando se mantiene la tensión de tesado y se aumenta el área de la armadura.

- El empleo de HRFA reduce hasta un 40% la abertura de fisura en servicio cuando se emplean 100 kg de fibras/m³. Puesto que el empleo de HRFA también mejora el comportamiento en rotura, no hay una reducción significativa de la abertura de fisura en términos de carga relativa a la carga última.

IV.5.2 Evolución de mecanismos resistentes

IV.5.2.1 Anclaje de la armadura horizontal

En este apartado se analiza la evolución de las tensiones de la armadura horizontal (A_{sH}) a lo largo de su anclaje en el interior de la pieza para distintos niveles de carga. En la serie 2 de ensayos (véase Tabla III.5) se instrumenta A_{sH} en distintas secciones, lo cual posibilita este análisis. En las fichas de ensayos existentes en el Anejo H se dispone de la evolución completa de las deformaciones de la armadura en las distintas secciones instrumentadas. A modo de ejemplo se muestra en la Figura IV.17 dicha información para la carga última en los ensayos DEB-1.6 (T2) y DEB-1.7(T2).

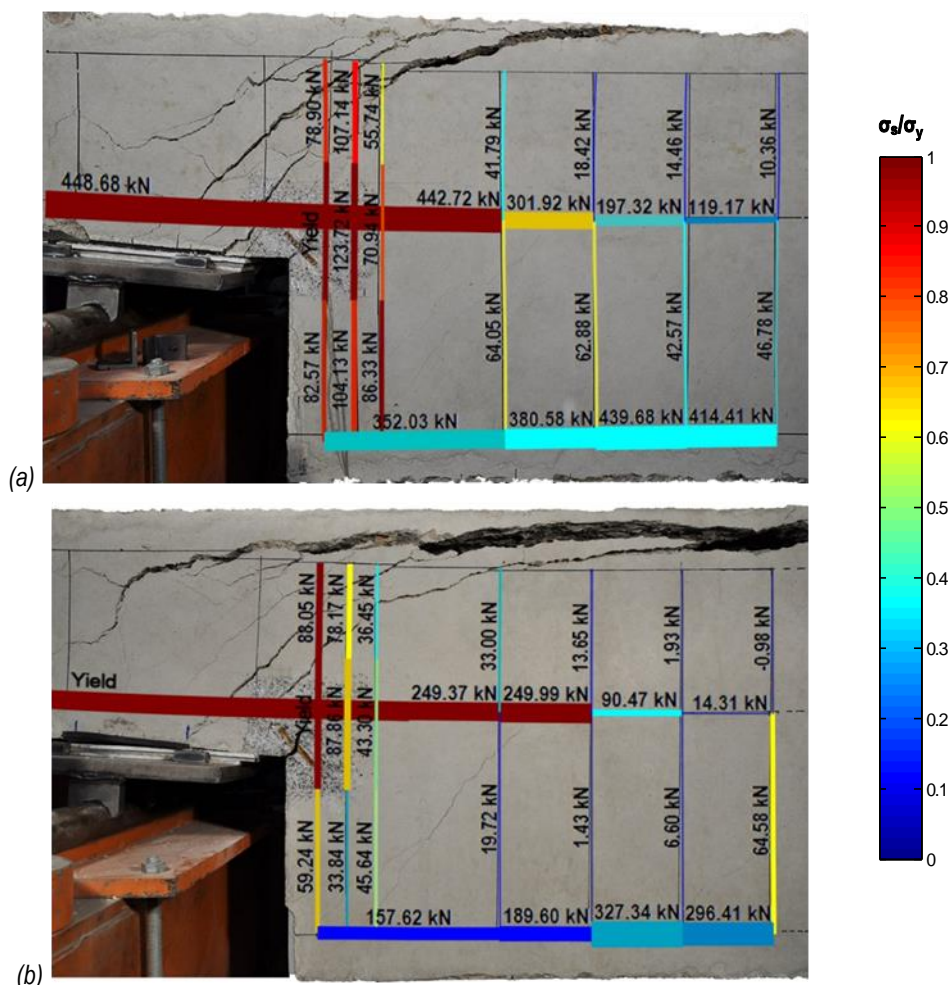


Figura IV.17: Esquemas tracciones y tensiones (en color) en rotura: (a) DEB-1.6 (T2) V=250.9 kN; (b) DEB-1.7 (T2) V=188.8 kN

Para cargas de servicio la transmisión de la tracción de la armadura al hormigón se produce en un tramo muy corto. No se detectan deformaciones apreciables en el tramo de la armadura horizontal situada más allá de la primera armadura de cortante de la viga. Esta observación puede estar influenciada por el hecho de que para estos niveles de carga una parte sustancial de la carga del tirante puede desarrollarse a través del hormigón en tracción y no generar deformaciones apreciables en la armadura.

A diferencia de lo anterior, para cargas cercanas a las de rotura (véase Figura IV.17), se observa una variación muy reducida entre la deformación de la armadura en su cruce con la fisura generada en el vértice de los AMM (véase punto A en disposición de galgas de la Figura III.10) y su deformación cerca del primer estribo de cortante (véase punto A1 en Figura III.10). Se concluye que la armadura horizontal para la disposición de AMM analizada no comienza a anclarse hasta sobrepasar el primer estribo de la viga. Esta observación viene a corroborar la conveniencia de no contabilizar el anclaje de la armadura horizontal (A_{sH}) desde su intersección con el tirante vertical (A_{sV}) o desde su intersección con la fisura generada en la esquina, sino desde su intersección con la hipotética fisura generada desde la esquina del extremo inferior de la viga (véase Figura II.36), tal y como se especifica en el procedimiento del PCI (véase descripción previa en el apartado II.4.7).

IV.5.2.2 Secuencia de plastificación de armaduras

La secuencia de plastificación de armaduras hasta alcanzar la carga máxima se puede consultar en la Tabla IV.3. Por lo que respecta a las configuraciones de armado ortogonales, en los especímenes con el esquema de referencia (O.1) se observa una plastificación aproximadamente simultánea de la armadura vertical (A_{sV}) y horizontal (A_{sH}) para el nivel de cuantía de armado ρ_{49} . Este resultado es congruente con el diseño realizado (equilibrado entre ambos tirantes). Para los niveles de cuantía de armado superiores se observa una tendencia a que A_{sH} plastifique antes que A_{sV} ¹⁴. El diferente comportamiento entre distintos niveles de cuantía de armado se explica por el fallo por *spalling*; dicho fallo hace que la resultante de compresiones resulte más baja.

En las piezas con esquemas de armado O.2 y O.3, plastifica en primer lugar el tirante que se ha disminuido respecto al esquema de referencia (O.1). Las piezas muestran una capacidad de redistribución plástica suficiente como para que generalmente llegue a plastificar también la armadura sobredimensionada. A modo de ejemplo, en la Figura IV.18 se muestran los resultados de la pieza con el esquema de armado con un mayor nivel de sobredimensionamiento (O.3: $\alpha=1.00$ / $\beta=0.40$). Tras la plastificación de A_{sV} para una carga de 77.5 kN la pieza es capaz de incrementar casi un 60% la carga al desarrollar un mecanismo resistente secundario transmitiendo carga a los primeros estribos de la armadura de cortante de la viga. Este mecanismo hace que se llegue a plastificar la armadura horizontal que se encontraba muy sobredimensionada.

¹⁴ Cuando la armadura A_{sV} se dispone en 3 planos de armado, la armadura que plastifica en primer lugar es la situada en el primer plano (A_{sV1}), haciéndolo a continuación A_{sH} . Considerando que el tirante vertical está formado por las 3 armaduras de A_{sV} en su conjunto, puede decirse que la plastificación de la armadura A_{sH} se produce antes que la de A_{sV} .

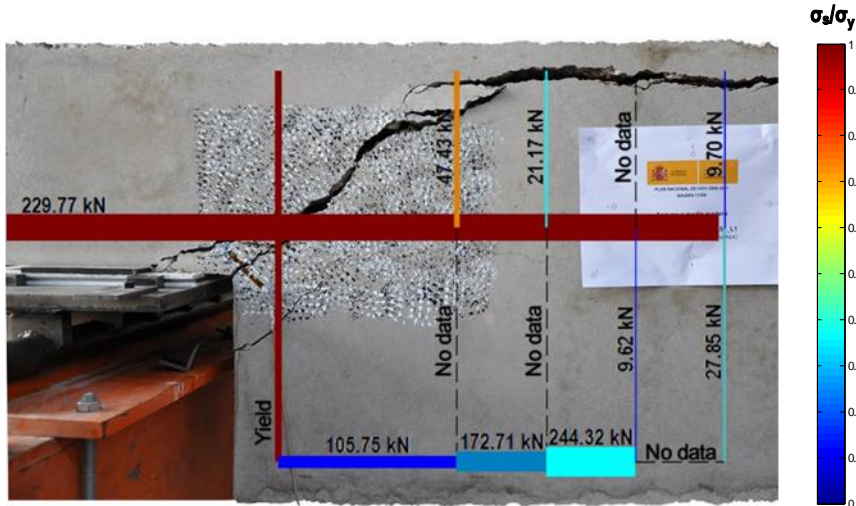


Figura IV.18: Esquemas tracciones y tensiones (en color) en rotura: DEB-1.3 (T1) $V=121.1$ kN

En las piezas en que A_{sv} se dispone en tres planos de armado se observa un gradiente importante en las tensiones entre los distintos planos de armado. Este gradiente hace que los planos de A_{sv} más cercanos al apoyo plastifiquen en primer lugar, por lo que en configuraciones de armado desequilibradas (esquemas O.2) los planos más alejados quedan sin plastificar, tal y como se observa en la Figura IV.17.b.

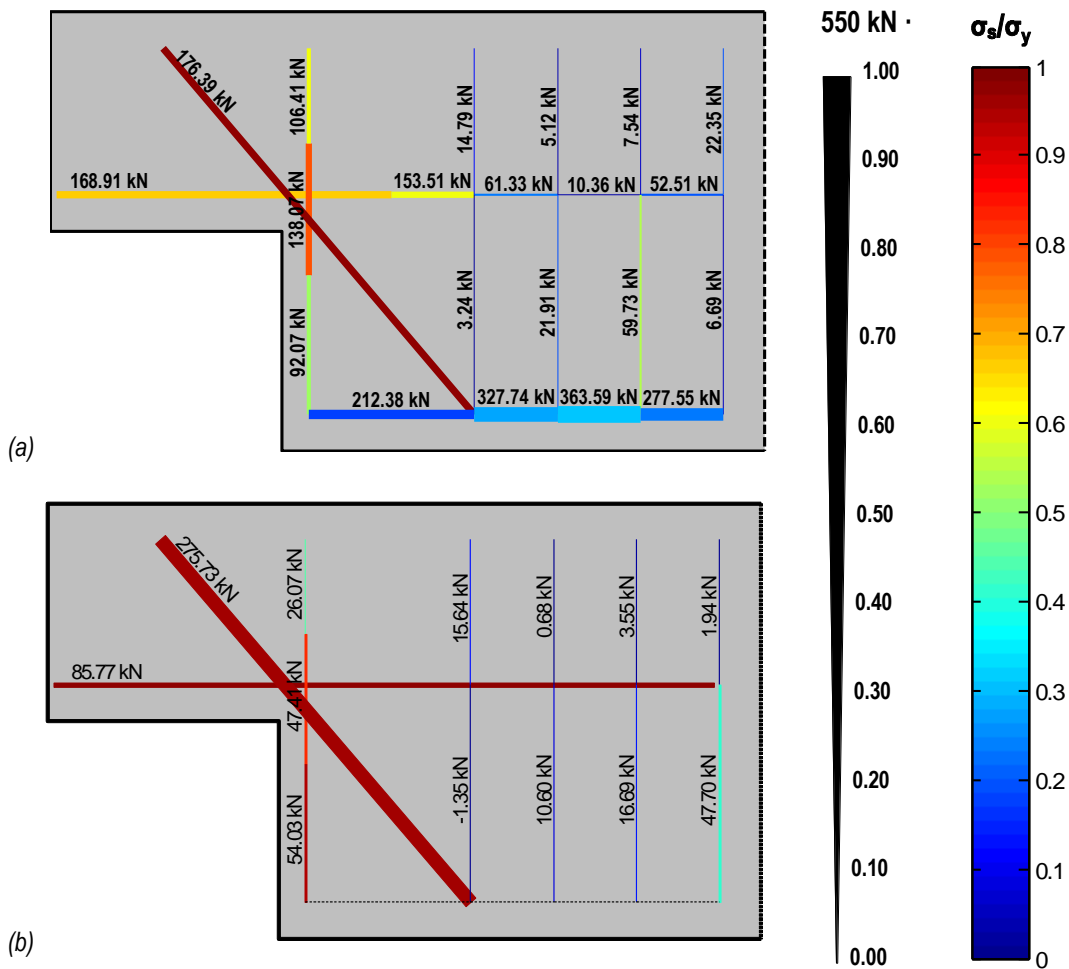


Figura IV.19: Esquemas tracciones y tensiones al 75% V_u : (a) DEB-2.2 (T1) $V=241.4$ kN; (b) DEB-2.5 (T2) 221.2 kN

En aquellos casos en los que se dispone armadura diagonal en combinación con el esquema ortogonal de referencia (configuraciones D.1, D.2 y D3), la armadura diagonal plastifica en primer lugar. A modo de ejemplo, en la Figura IV.19 se muestran los esquemas de los esfuerzos de tracción y las tensiones de las armaduras de un ensayo con esquema de armado D.1 (Figura IV.19.a) y otro con esquema D.3 (Figura IV.19.b) para el 75% de la carga máxima. Se observa, de forma más clara en la Figura IV.19.a, que para dicho nivel de carga la armadura diagonal está plastificada, mientras que las ortogonales aún disponen alrededor del 30% de su capacidad resistente previa a la plastificación. Esta observación está relacionada con la discusión sobre el reparto entre el mecanismo resistente ortogonal y diagonal que se aborda en el apartado IV.5.2.3.

En la Figura IV.19 también se aprecia la diferente contribución resistente de la armadura diagonal para los dos ensayos mostrados, por comparación de los distintos grosores (fuerzas de tracción de los tirantes).

IV.5.2.3 Distribución resistente entre el mecanismo ortogonal y el diagonal

La contribución resistente relativa entre el mecanismo ortogonal y diagonal teórica en rotura se obtiene considerando que todas las armaduras alcanzan su plastificación. Es decir, se supone que las piezas tienen una capacidad de redistribución plástica suficiente. Para cargas inferiores a las de rotura dicho reparto no es válido.

El reparto de la carga equilibrada por cada mecanismo previo a la plastificación viene condicionado por compatibilidad de deformaciones (este aspecto será tenido en cuenta al establecer las metodologías de cálculo de la abertura de fisura en servicio en el Capítulo VII). La armadura diagonal (A_{SD}), al disponerse en dirección de las tracciones generadas en el campo elástico lineal de los AMM, es más eficiente que el esquema ortogonal. Por tanto, para cargas inferiores a las de plastificación, el esquema más eficiente (en este caso el diagonal) equilibra una proporción de carga superior a la correspondiente en rotura. Esto explica que en la campaña experimental las tensiones de la armadura diagonal previas a la plastificación sean superiores a las de las armaduras ortogonales (véase Figura IV.19.a) y que la armadura diagonal sea la primera en alcanzar la plastificación.

En la Tabla IV.6 se muestran los resultados experimentales de la fracción de carga aplicada que es soportada por el esquema diagonal antes de la plastificación¹⁵ para 5 configuraciones con distintos repartos entre el esquema ortogonal y el diagonal; se muestra también el reparto teórico en función de la capacidad resistente dispuesta.

Se aprecia de manera consistente para todos los ensayos analizados que la carga relativa soportada por el esquema diagonal es superior a la correspondiente en rotura. En los ensayos

¹⁵ Dicho ratio se obtiene dividiendo la componente vertical del tirante diagonal entre la carga aplicada. La carga soportada por el tirante vertical se obtiene a partir de las medidas de deformaciones de la armadura diagonal. Se muestra el resultado promediado entre el 40% y el 60% de la carga máxima, que queda por debajo de la plastificación pero a un nivel de carga suficientemente alto como para garantizar la validez de las medidas de las deformaciones.

realizados la carga relativa soportada por el mecanismo ortogonal antes de la plastificación es entre un 25% y un 40% inferior al reparto teórico en función de su capacidad resistente en rotura.

Tabla IV.6: Carga relativa soportada por el mecanismo resistente diagonal antes de la plastificación

Espec.	Configuración de armado	TEÓRICO ROTURA	EXP. (T1)	EXP. (T2)	EXP. (Prom.)
DEB-2.1	D.1 – $\alpha=\beta=0.58 / \gamma=0.43$	43%	56%	57%	56%
DEB-2.2	D.1 – $\alpha=\beta=0.58 / \gamma=0.43$	43%	56%	58%	57%
DEB-2.3	D.1 – $\alpha=\beta=0.58 / \gamma=0.43$	43%	54%	-	54%
DEB-2.4	D.2 – $\alpha=\beta=0.40 / \gamma=0.58$	59%	76%	76%	76%
DEB-2.5	D.3 – $\alpha=\beta=0.20 / \gamma=0.70$	78%	81%	93%	87%

La capacidad de redistribución plástica de las piezas es suficiente en todos los casos como para que el esquema de armadura ortogonal desarrolle también toda su capacidad resistente tras la plastificación de la armadura diagonal.

IV.5.3 Carga última

IV.5.3.1 Dispersión del proceso

De manera análoga a como se realizó en el apartado IV.5.1.2 para las aberturas de fisura en servicio, se analiza a continuación la variación de los resultados de cargas últimas (V_u) en ensayos con replicación. En la Figura IV.20 se representan las dos cargas últimas (V_u) de los ensayos con replicación en piezas gemelas respecto al promedio de ambas cargas ($V_{u,avg}$). Además de los resultados del presente estudio se incluyen los resultados de otros estudios con replicación de ensayos en rotura (Liem [39], Clark y Thorogood [46], Herzinger [4], [32], Nagrodzca-Godycka et al. [58] y Ahmad [60]).

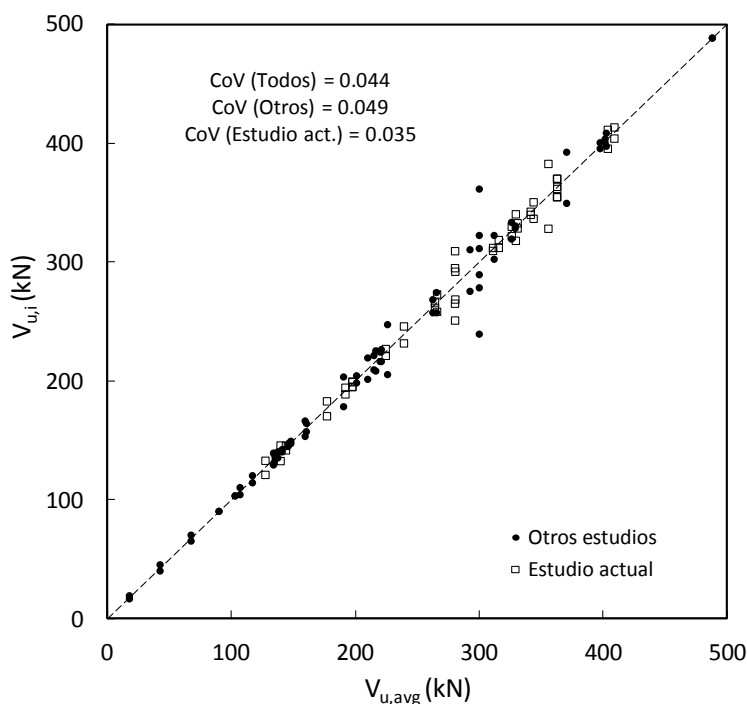


Figura IV.20: Dispersión de cargas últimas en ensayos con replicación

La rotura, por tratarse de un fenómeno global de la pieza, no está tan influenciada por fenómenos locales con elevada dispersión como sucede en el caso de las aberturas de fisuras; en consecuencia la dispersión observada en las cargas de rotura es más reducida. El coeficiente de variación (CoV) obtenido entre ensayos con replicación en la presente campaña experimental es más reducido que el observado en el resto de ensayos de AMM con replicación disponibles en la bibliografía. El coeficiente de variación se sitúa entre el 4% y el 5%.

Con el objetivo de comparar la dispersión en las cargas de rotura con la de la existente para las aberturas de fisura, es posible obtener el coeficiente de determinación (R^2) asociado a las cargas últimas. Se obtiene un valor de 0.99, muy superior al obtenido para las aberturas de fisura hasta 0.4 mm ($R^2=0.90$), dando una idea de la relativamente elevada dispersión existente en las aberturas de fisura en los AMM.

IV.5.3.2 Influencia de variables analizadas

Varias de las variables analizadas en el presente estudio están orientadas a modificar el comportamiento en servicio, no esperándose o no siendo relevantes cambios en las cargas últimas de las piezas, como es el caso del biselado del vértice.

Resulta de interés analizar la influencia que tienen los factores de cuantía de armadura dispuestos en la carga última (V_u), para ver si incrementos de las armaduras producen aumentos proporcionales de la resistencia de las piezas. En la Tabla IV.7 se muestran los resultados de cargas últimas para los tres esquemas de armado ensayados para todas las cuantías de armadura (O.1, O.2, D.1), relativos a las cargas últimas de los ensayos con el mayor factor de cuantía de armado ($V_{u,p100}$)¹⁶.

Tabla IV.7: Influencia del factor de cuantía de armado en la carga última

Factor de cuantía de armado	$V_u/V_{u,p100}$			Promedio
	O.1	O.2	D.1	
p100	100%	100%	100%	100%
p71	70%	75%	74%	73%
p49	63%	65%	61%	63%

Los incrementos de las cuantías de armadura se traducen en incrementos mucho más reducidos de las cargas últimas, especialmente comparando el menor factor de cuantía de armado (p49) con respecto a los dos superiores (p71 y p100). Este resultado es consistente con la discusión realizada de los modos de rotura (véase apartado IV.4.2), en la que se apreciaba que el modo de fallo por spalling tiende a producirse para las cuantías de armado superiores. Del análisis de las cargas últimas alcanzadas puede concluirse que el modo de fallo por spalling limita la carga máxima de los AMM.

Por lo que respecta al reparto del tirante vertical en varios planos, la comparación de las piezas DEB-1.1, DEB-1.4, DEB-1.2 y DEB-1.5 permite deducir que el aumento del ratio a/d (véase Figura II.10)

¹⁶ Para las configuraciones p49/O.1 y p49/O.2 se emplea en el análisis los resultados de las piezas DEB-1.4 y DEB-1.5 con A_{sv} dispuesto en 3 tirantes, de manera congruente con las piezas de los otros factores de cuantía de armado.

que produce la distribución del tirante en tres planos ($a/d=0.96$ para A_{SV} en 1 capa, $a/d=1.12$ para A_{SV} en 3 capas) deriva en una pérdida del 10% de la capacidad resistente. No obstante, esta conclusión está fundamentada exclusivamente en el análisis para una cuantía de armado baja ($p49$), en la que no tienen importancia los fallos por spalling. Para cuantías de armado superiores el efecto beneficioso que el reparto del tirante vertical tiene en la reducción del modo de fallo por spalling (véase apartado IV.4.2) podría llegar a compensar e incluso ser superior al efecto por el aumento del ratio a/d .

Las variaciones relativas observadas en los ensayos entre los distintos esquemas de armado son similares a las esperadas en base a las cargas de diseño estimadas para los ensayos (véase apartado III.2). El análisis comparativo mostrado en la Tabla IV.8 de la configuración O.1 en la pieza DEB-1.1 respecto a las configuraciones O.2 y O.3 (piezas DEB-1.2 y DEB-1.3 respectivamente), permite observar que la reducción de un 40% de la capacidad resistente de A_{SH} se traduce en una pérdida de la resistencia del AMM (29%) inferior a la reducción aplicada a la armadura. Por lo que respecta a la armadura vertical, la reducción de su capacidad en un 60% se traduce en una reducción de la capacidad del apoyo (34%) muy inferior a la reducción aplicada a la armadura. En el caso de la reducción de A_{SH} la diferencia entre la pérdida de resistencia del AMM respecto de la reducción de armadura puede justificarse por el aumento del ángulo de inclinación de la biela que parte del apoyo. En el caso de la reducción de A_{SV} esta diferencia, la cual es netamente superior al caso de A_{SH} , puede justificarse por la contribución de la armadura de cortante de las piezas (A_{S3}).

Tabla IV.8: Influencia del esquema de armado en la carga última

Esquema de armado	$V_u/V_{u,p100}$
O.1 – $\alpha=1.0 / \beta=1.0$	100%
O.2 – $\alpha=0.6 / \beta=1.0$	71%
O.3 – $\alpha=1.0 / \beta=0.4$	66%

Por lo que respecta a la influencia del pretensado de la armadura horizontal, comparando en promedio las resistencias alcanzadas en los ensayos de las piezas con armados idénticos pretensando y sin pretensar A_{SH} (piezas DEB-3.3 y DEB-2.6 respectivamente), se observa que el pretensado aumenta alrededor de un 5% la capacidad resistente.

Por otra parte, las diferencias de carga máxima observadas entre las piezas en las que se han aplicado distintas fuerzas de pretensado (DEB-3.10, DEB-3.11, DEB-3.12) manteniendo en todas ellas la tensión de tesado, se sitúan en el entorno del 10-15%. Estas diferencias son debidas a las variaciones en las áreas de A_{SH} . Los incrementos de las cargas máximas no son proporcionales a los incrementos en las áreas de la armadura A_{SH} , que son del 50% y 100% respectivamente. La falta de proporcionalidad entre incrementos de armaduras e incrementos de cargas máximas es debida a la limitación de la carga impuesta por la capacidad de las armaduras verticales (A_{SV} y A_{S3}).

En base a estas observaciones se concluye que pretensar la armadura horizontal no influye significativamente en la capacidad resistente de las piezas, por lo que su efecto favorable se centra en la reducción de la abertura de fisura, tal y como se describió en el apartado IV.5.1.8.

Por lo que respecta al uso de HRFA, se observa un aumento apreciable de los resultados de la carga última de las piezas al disponer fibras. Las fibras tienen un efecto beneficioso por el aumento de la capacidad resistente de los tirantes (por la resistencia a tracción residual que incorporan al hormigón) y de las bielas (por mejora del comportamiento transversal a la biela por la resistencia a tracción incorporada), pero especialmente por la eliminación del modo de fallo por spalling previamente detallada (véase apartado IV.4.2). El empleo de fibras de acero en el hormigón da lugar a resistencias de un 7% a un 17% superiores en función de la cantidad de fibras dispuestas (40~100 kg/m³).

Por último, la influencia sobre la carga máxima de disponer armadura secundaria en el apoyo se analiza al comparar las piezas DEB-4.1, DEB-4.2 y DEB-4.3 respecto a sus piezas gemelas sin armadura secundaria (DEB-3.4, DEB-3.6). En la Tabla IV.9 se muestran los resultados de cargas últimas de las piezas con armadura secundaria relativas a las cargas últimas de las piezas sin armaduras secundarias ($V_{u,ref}$).

Tabla IV.9: Influencia de la armadura secundaria en la carga última

Armadura secundaria	$V_u/V_{u,ref}$		
	p100/O.1	p71/O.1	Promedio
No	100%	100%	100%
SR1 - Concentrada	101%	107%	104%
SR2 - Distribuida	106%	-	106%

En consonancia con la observación descrita en el apartado IV.4.2 de que el empleo de armaduras secundarias provoca modos de fallo más dúctiles no condicionados por spalling, se observa que el empleo de armaduras secundarias aumenta ligeramente las cargas de rotura. No es posible con los ensayos realizados concluir si es más efectivo disponer la armadura secundaria concentrada o distribuida. Los resultados experimentales obtenidos en este trabajo muestran una eficacia más reducida que la observada por otros autores o la predicha mediante modelos de campos de tensiones elasto-plásticos (véase Capítulo VI).

Capítulo V

Modelos de bielas y tirantes

En este capítulo se analizan los resultados en rotura de los ensayos realizados mediante modelos de bielas y tirantes y se propone una metodología para obtener la carga máxima de los apoyos a media madera (AMM) basada en el método de bielas y tirantes. En primer lugar se construyen modelos de bielas y tirantes para las principales configuraciones de armado analizadas en el presente estudio, tomando como base las cargas en los tirantes registradas en la campaña experimental realizada (véase Capítulo IV). Fruto del análisis de dichos modelos experimentales se propone una metodología para obtener la geometría adecuada del modelo de bielas y tirantes con la que estimar la carga última en AMM. Su aplicación tanto a los resultados de la presente campaña experimental como a una serie de ensayos extraídos de la bibliografía permite determinar el valor de la resistencia de la biela diagonal que llega a la cabeza de la armadura principal vertical (A_{sv}) proveniente del apoyo.

V.1 Construcción de modelos de bielas y tirantes a partir de los resultados experimentales

Tal y como se indicó previamente en el apartado IV.1.1, los resultados obtenidos de las bandas extensométricas dispuestas en los ensayos experimentales permiten determinar las deformaciones en algunos puntos de las armaduras. A través de la ley constitutiva del acero empleado pueden obtenerse en esos mismos puntos las tensiones, y por suma de los esfuerzos de tracción en las armaduras, el esfuerzo de tracción de cada tirante de la región (véanse ejemplos en Figura IV.4 y Figura IV.17 hasta Figura IV.19). El esfuerzo de un tirante así obtenido será representativo del realmente existente en el tirante si la banda extensométrica queda situada en una zona en la que la tensión de tracción del hormigón sea despreciable, como es el caso de que la banda quede cerca de una fisura. De no ser así, los esfuerzos estimados en los tirantes son una cota inferior de la carga realmente soportada por el tirante, ya que recogen exclusivamente la componente de la carga del tirante soportada por las armaduras, quedándose indeterminada la componente resistida por el hormigón.

Para los AMM ensayados las bandas extensométricas de las armaduras situadas en el entorno de la esquina se disponen cerca de la fisura diagonal más condicionante en servicio (véase apartado IV.3). La posición de dicha biela es conocida por el efecto entalla que induce la sección de cambio de canto de las piezas. Por ello, para estos tirantes y especialmente cerca de las cargas de rotura, las medidas registradas pueden ser consideradas una buena aproximación de la carga de los tirantes. Para otras armaduras no está garantizada la existencia de fisuras cercanas y por tanto la exactitud de los resultados. No obstante, los resultados para la carga máxima (V_u) sintetizados gráficamente mediante esquemas de tensiones y tracciones permiten establecer modelos de bielas y tirantes compatibles¹⁷ con dichos resultados.

Se desarrollan a continuación los modelos de 4 configuraciones de armado representativas de la totalidad de la campaña experimental. Las bielas de los modelos propuestos se representan en trazo discontinuo blanco y grosor variable en función de su carga sobre los esquemas de tensiones y tracciones de los tirantes extraídos de la campaña experimental. La posición de los tirantes en el modelo se destaca sobre el esquema experimental mediante una línea fina blanca continua.

V.1.1 Configuración ortogonal O.1 ($\alpha=1.00$ / $\beta=1.00$)

En la Figura V.1 se representa el esquema de bielas y tirantes para la configuración ortogonal de referencia (O.1), en la que las armaduras vertical (A_{sv}) y horizontal (A_{sh}) se diseñaron para alcanzar teóricamente su plastificación simultánea.

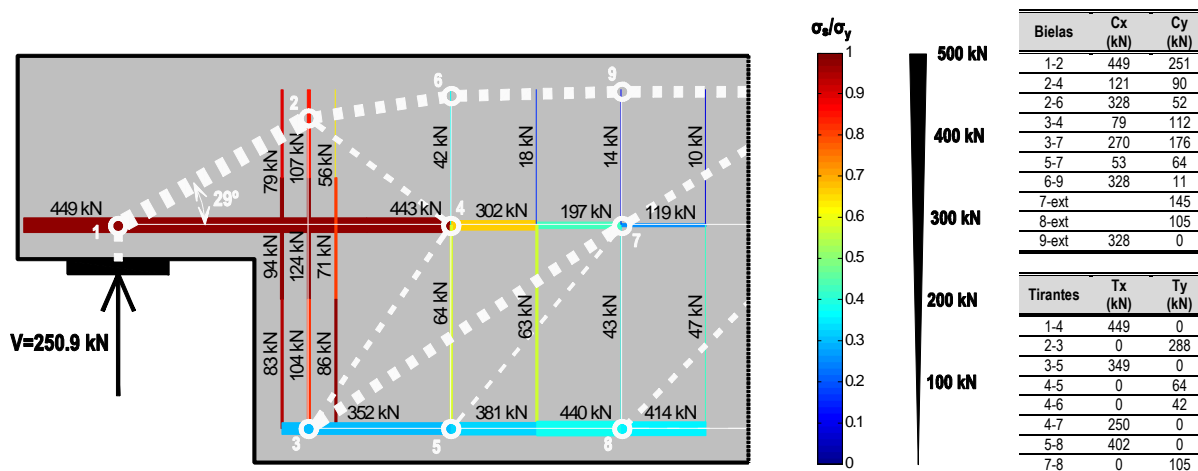


Figura V.1: Modelo de bielas y tirantes en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-1.6 (T2)

Se observa que el ángulo de la biela inclinada que parte del apoyo ($\theta_{1-2}=29^\circ$) se corresponde con un valor de la cotangente de aproximadamente 1.8, frente al valor de 1.5 inicialmente supuesto en la fase de diseño de la campaña experimental. Esta observación es consistente con la tendencia

¹⁷ En los modelos de bielas y tirantes propuestos se verifica que las cargas de los tirantes principales vertical (A_{sv}), horizontal (A_{sh}) y diagonal (A_{sd}) se corresponden de manera exacta con las experimentales. Para el resto de armaduras se trata de verificar el máximo número de resultados experimentales. En los modelos se agrupan varias armaduras de las piezas en un único tirante para una comprensión más adecuada de los mismos.

observada para los niveles de cuantía de armado superiores de que la armadura A_{sH} plastifica con anterioridad a A_{sV} .

Se observa que la armadura A_{sH} comienza a anclarse reducirse a partir del primer estribo de cortante (A_{s3}), tal y como se ha indicado previamente en el apartado IV.5.2.1.

La mayor deformación registrada en las bandas extensométricas situadas en la parte inferior de los estribos indica que la armadura A_{sH} reduce su tracción debido en parte a la existencia de bielas diagonales que se forman entre esta armadura y la armadura inferior longitudinal de la viga. El anclaje de esta armadura también genera compresiones (biela 2-4) que se apoyan en el nudo superior del tirante vertical A_{sV} . El mecanismo de anclaje de A_{sH} puede interpretarse por tanto como la suma de los dos siguientes mecanismos, sintetizados en la Figura V.2:

- 1) El mecanismo de celosía generado en la mitad inferior de la viga (3-4B, 3-5 y 4B-5 según Figura V.2).
- 2) El mecanismo generado por la biela 2-4A y la biela 3-4A, el cual genera una tracción vertical adicional en la armadura A_{sV} (tirante 2-3). La actuación de este mecanismo induce una tracción total en esta armadura superior a la reacción en el apoyo (véase Figura V.2), tanto mayor cuanto mayor es el ángulo de la biela 2-4A respecto a la horizontal.

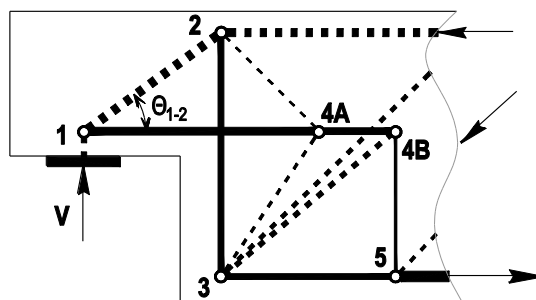


Figura V.2: Mecanismos resistentes para el anclaje de la armadura horizontal

En los casos en los que la carga máxima que se transmite al apoyo está condicionada por la plastificación de la armadura vertical, la biela 2-4 es más tendida o no existe, aprovechándose así la máxima capacidad resistente de este tirante.

Por otro lado, en la Figura V.1 se observa la posición relativamente baja del nudo 2, el cual queda por debajo del extremo de la armadura A_{sV} . El agotamiento se produce por plastificación de la armadura A_{sH} , desarrollando la biela 1-2 su máxima inclinación dada por su agotamiento a la entrada del nudo 2. El desarrollo del segundo mecanismo de anclaje de A_{sH} descrito permite que el tirante A_{sV} pese a no condicionar el agotamiento de la pieza quede al 98% de su carga de plastificación.

En la situación de rotura analizada la resultante de las compresiones que salen del nudo 2 (bielas 2-4 y 2-6) tiene una inclinación muy horizontal ($\cotg\theta=C_x/C_y=449/(90-52)=11.8$, es decir $\theta=5^\circ$).

V.1.2 Configuración ortogonal O.2 ($\alpha=0.60$ / $\beta=1.00$)

La Figura V.3 representa el modelo de bielas y tirantes propuesto para el ensayo DEB-1.7 y compatible con los resultados experimentales obtenidos. Este ensayo se considera representativo de la configuración O.2 en la cual se detrae, respecto de la de referencia, un 40% de la armadura A_{SH} , posibilitando analizar el sobredimensionamiento de A_{SV} .

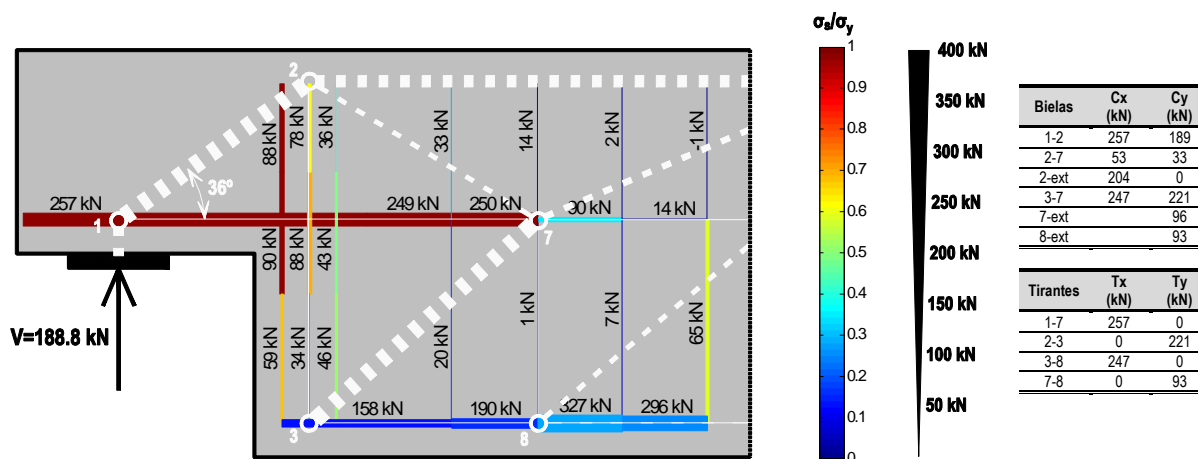


Figura V.3: Modelo de bielas y tirantes en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-1.7 (T2)

La consecuencia más directa de reducir la armadura A_{SH} es el aumento del ángulo de la biela inclinada que parte del apoyo ($\theta_{1-2}=36^\circ$). La cotangente de dicha biela se reduce aproximadamente un 25% respecto a la de la configuración de referencia O.1, adoptando un valor de 1.36. La carga máxima se alcanza con plastificación de A_{SH} y agotamiento del hormigón en el nudo 2. La menor carga alcanzada permite que el agotamiento del hormigón en el nudo 2 se produzca con una profundidad de las compresiones menor que en el caso de la configuración O.1. Como consecuencia la biela superior resultante en el nudo 2 es perfectamente horizontal y no se desarrolla un arco gradual para las compresiones superiores (bielas 2-6-9 en la Figura V.1).

De nuevo en este caso se genera la biela diagonal 2-7 entre el nudo 2 y la armadura horizontal (biela 2-4 según el modelo de bielas y tirantes para O.1 desarrollado en la Figura V.1 y la Figura V.2), que indica que una parte del anclaje de la armadura horizontal A_{SH} se produce por apoyo en el nudo 2 a través de esta biela diagonal. Por comparación con la configuración O.1, el anclaje de la armadura A_{SH} comienza a producirse más lejos del apoyo, a partir del segundo estribo de cortante de la viga (A_{S3}). En consecuencia, la inclinación de la biela 2-7 es inferior a la de la biela generada en la configuración de referencia O.1. La biela 2-7 adquiere un esfuerzo reducido debido a que la inclinación de la biela 3-7 es prácticamente paralela a la biela 1-2.

En este caso, de la misma forma a lo observado para la configuración O.1, la inclinación que adquieren las compresiones resultantes que salen del nudo 2 (bielas 2-7 y 2-ext) es muy reducida ($\cotg\theta=C_x/C_y=257/33=7.8$, es decir $\theta=7^\circ$).

V.1.3 Configuración ortogonal O.3 ($\alpha=1.00$ / $\beta=0.40$)

En la configuración O.3 se analiza el efecto de detraer respecto a la de referencia el 60% de la armadura A_{sV} permitiendo estudiar un esquema de armado en el que dicha armadura plastifique con claridad en primer lugar. Esta configuración se ha analizado exclusivamente para la cuantía de armadura más baja (p49) en la pieza DEB-1.3. En dicha pieza no se disponen bandas extensométricas para el análisis del anclaje de la armadura A_{sH} . Por otra parte, por tratarse de una pieza con una carga de rotura claramente inferior al resto de piezas analizadas, la contribución del hormigón que rodea a las armaduras es mayor, lo cual se manifiesta en unos resultados poco precisos en algunas ramas de los estribos de cortante de la viga. A pesar de ello, es posible desarrollar un modelo de bielas y tirantes compatible con los resultados experimentales (Figura V.4), pero sin la precisión obtenida para las demás configuraciones.

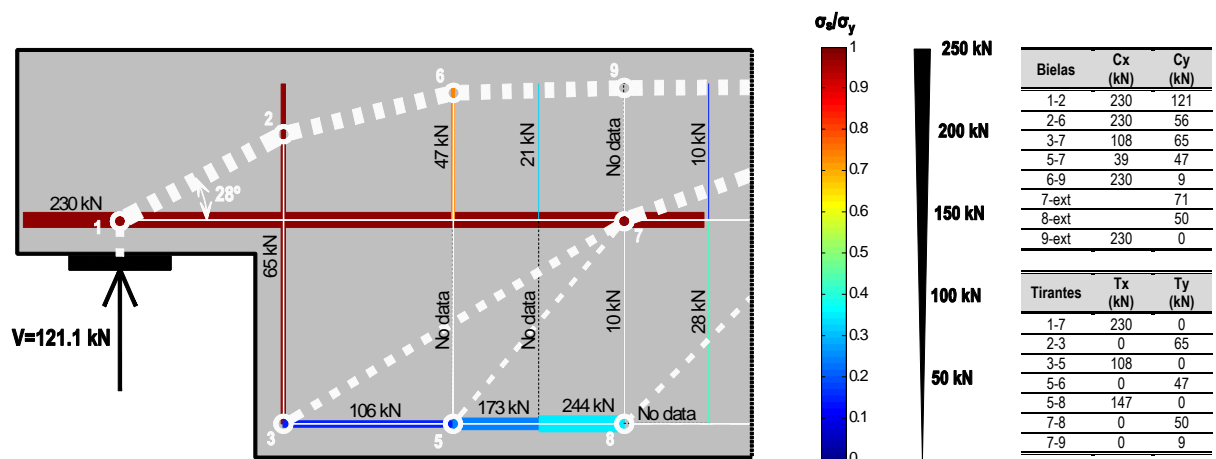


Figura V.4: Modelo de bielas y tirantes aproximado en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-1.3 (T1)

El ángulo de la biela que parte del apoyo (1-2) es ligeramente más reducido que en la configuración O.1. Teniendo en cuenta que en este caso la armadura vertical se dispone en un solo plano –la distancia horizontal entre el eje de apoyo y este plano se reduce un 15%–, la posición del nudo 2 desciende de forma sensible.

Por otro lado, la reacción en el apoyo se equilibra de manera muy aproximada mediante la suma de la tracción de la armadura A_{sV} (plastificada) y el tramo superior del primer estribo de cortante de la viga¹⁸.

Desde el punto de vista de la representación mediante bielas y tirantes, la biela 1-2-6 puede entenderse como la descomposición de dos mecanismos tal y como se muestra en la Figura V.5, diferenciándose entre el mecanismo resistente asociado a la armadura A_{sV} (tirante 2-3) del mecanismo resistente asociado a la contribución del primer estribo de cortante (tirante 5-6). La biela diagonal resultante generada sobre el apoyo será tanto más tendida cuanto mayor sea la importancia del esquema resistente asociado a la biela 1-6.

¹⁸ Debe tenerse en cuenta que para el primer estribo de cortante de la viga es posible que la banda extensométrica no se esté captando la totalidad de la tracción del tirante por no generarse exactamente una fisura en su posición.

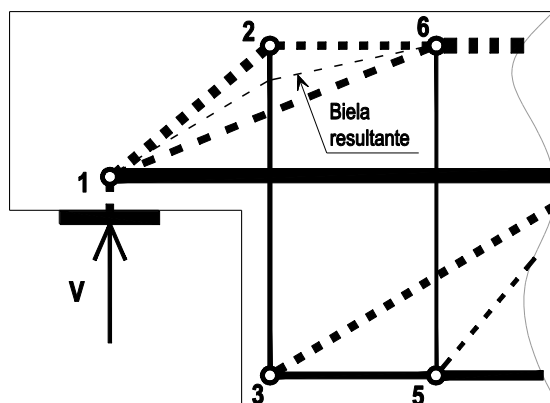


Figura V.5: Mecanismos resistentes para la configuración O.3

La rotura en este ensayo se produce con plastificación previa de la armadura A_{sv} y plastificación de la armadura horizontal permitiendo que se genere una biela de apoyo desde el primer estribo de la viga. Tanto para los resultados experimentales como para las predicciones del modelo numérico descrito posteriormente en el Capítulo VI se observa que para la carga a la que plastifica A_{sv} (V_y) dicho tirante soporta una carga igual a aproximadamente el 80% de la reacción ($0.8 \cdot V_y \approx 63$ kN). El 20% restante de la reacción (16 kN) queda soportada por el otro mecanismo resistente (biela 1-6). Sucesivos incrementos de carga hasta llegar a la rotura serán soportados exclusivamente¹⁹ por el mecanismo asociado al primer estribo de cortante (biela 1-6), llegando finalmente dicho mecanismo a una contribución de alrededor del 40%. Este esquema desarrolla gran parte de su capacidad resistente en la fase de redistribución plástica. A pesar de ello, el estribo no alcanza su plastificación. La carga máxima queda por tanto limitada por la plastificación de la armadura horizontal y la inclinación máxima de las bielas 1-2 y 1-6.

Por lo que respecta al anclaje de la armadura horizontal, no se ha estudiado experimentalmente y no es posible determinar con precisión cuándo comienza a producirse. En base al resto de resultados sí que es posible concluir que no se genera una biela de anclaje de dicha armadura en la parte superior de la pieza hacia el nudo 2. El anclaje de A_{sh} se desarrolla por tanto exclusivamente mediante el mecanismo generado por las bielas en la parte inferior de la viga (3-7, 5-7).

V.1.4 Configuración diagonal D.1 ($\alpha=\beta=0.58$ / $\gamma=0.43$)

El efecto de incluir armadura diagonal en los modelos de bielas y tirantes se analiza mediante el ensayo DEB-2.2 (T1) representado en la Figura V.6. Dicha configuración combina un 58% de la configuración ortogonal de referencia O.1, con un 43% de la configuración de armado diagonal.

La inclusión de la armadura diagonal hace que la biela 1-2 generada para el esquema O.1 (véase Figura V.1) se divida en las bielas 1A-1B y 1B-2. La biela que parte del apoyo (1A-1B) tiene una inclinación ($\cotg\theta_{1A-1B}=0.81$) muy superior a la observada para el esquema O.1, mientras que la biela 1B-2 ($\cotg\theta_{1B-2}=2.15$) es más tendida que la biela 1-2 para el esquema O.1.

¹⁹ Esta afirmación es cierta si se desprecia el efecto del endurecimiento de la armadura A_{sv} en su rama plástica.

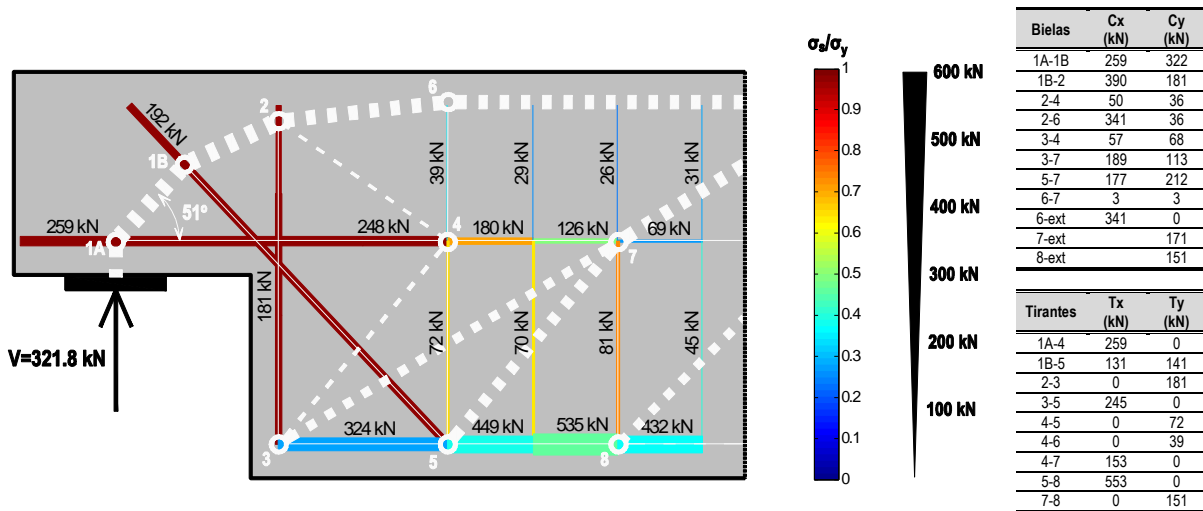


Figura V.6: Modelo de bielas y tirantes en rotura a partir de resultados experimentales: DEB-2.2 (T1)

De manera análoga a como se realizaba para la configuración O.3 en la Figura V.5, las bielas 1A-1B y 1B-2 representan la combinación del esquema resistente ortogonal (Figura V.7.a) con una biela inclinada 1A-2, y el esquema resistente diagonal (Figura V.7.b) con una biela vertical 1A-1B. Cuanto mayor sea la importancia relativa del esquema resistente diagonal (1-x) más vertical será la biela que parte del apoyo (1A-1B).

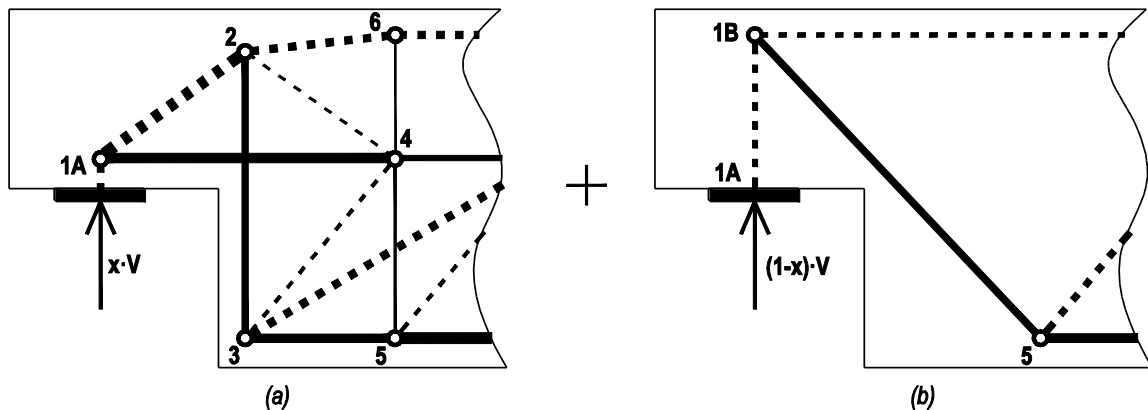


Figura V.7: Descomposición entre mecanismo resistente ortogonal y diagonal

En la Figura V.7 se representan de manera independiente el esquema ortogonal y el diagonal asociados al modelo previamente propuesto en la Figura V.6, siendo los grosores de las bielas y los tirantes relativos a la carga de cada tirante. Se observa que la componente ortogonal de este ensayo (Figura V.7.a) coincide de manera muy precisa con el esquema propuesto para la configuración ortogonal de referencia O.1 (véase Figura V.1), siendo por tanto válidas las discusiones allí realizadas. Las componentes verticales de las bielas 2-6 y 2-4 son iguales, lo que significa que la resultante de compresiones que salen hacia la derecha del nudo 2 es totalmente horizontal.

V.2 Propuesta de modelos simplificados para cálculo en rotura

Fruto del análisis realizado de los modelos de bielas y tirantes desarrollados a partir de los resultados experimentales, se proponen a continuación modelos simplificados para el cálculo en rotura.

Esta propuesta es una adaptación simplificada del procedimiento general de bielas y tirantes detallado en el apartado II.1.1 orientada a los AMM. Su objetivo es comprobar la carga máxima resistida por una determinada configuración de armado correctamente diseñada.

En la campaña experimental realizada se ha observado que el fallo producido en el nudo situado en la parte superior de la armadura A_{sV} condiciona la carga última de las piezas. Se plantea por tanto en este modelo simplificado la comprobación exclusiva de dicho nudo para determinar su posición vertical. Fijada esta posición queda definida la geometría de los modelos simplificados de bielas y tirantes propuestos, así como su carga máxima en base a la capacidad resistente de los tirantes.

Para la comprobación del nudo se considera el modelo tensional propuesto en la Figura V.8. Dado que A_{sV} se dispone en forma de estribos cerrados se considera un anclaje perfecto en su cabeza y no se introducen en el modelo sus tensiones de adherencia. Según el modelo propuesto, el aspecto más restrictivo del nudo es la comprobación de la capacidad resistente de la biela diagonal proveniente del apoyo ($\sigma_1 < f_{1c}$, según denominación contenida en el apartado II.1.1).

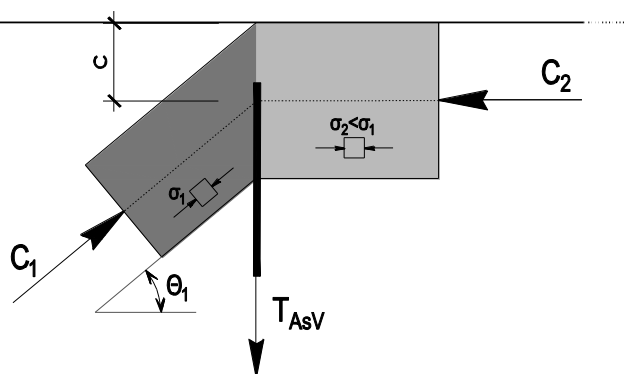


Figura V.8: Modelo considerado para la zona nodal CCT generada sobre A_{sV}

En la Figura V.8 se muestra el caso en que la carga en la armadura vertical (T_{AsV}) es igual a la componente vertical de la biela inclinada. Tal y como se acaba de describir en el apartado V.1, la resultante de las compresiones a la derecha de la armadura vertical es sensiblemente horizontal. En cualquier caso, el ángulo de la biela izquierda (θ_1) es mayor al de la biela resultante a la derecha del nudo (θ_2), por lo que también resulta más condicionante la comprobación de la capacidad resistente de la biela diagonal C_1 proveniente del apoyo en caso de que $\theta_2 \neq 0$ (véase Figura V.9).

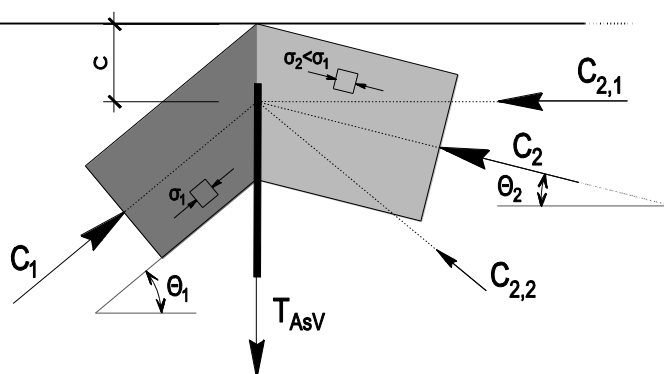


Figura V.9: Modelo considerado para la zona nodal CCT generada sobre A_{sV} (caso con biela de anclaje de A_{sH})

La consideración de la zona nodal hasta el borde de las piezas requiere movilizar la resistencia a tracción del hormigón en el recubrimiento para desviar el flujo de compresiones en dicha parte de la zona nodal. El empleo de una resistencia a compresión en la biela (f_{1c}) suficientemente reducida, permite considerar de manera indirecta pero con un grado adecuado de precisión este aspecto.

El valor de resistencia de la biela propuesto se discute posteriormente en el apartado V.3 en base al contraste experimental del modelo. De manera genérica la máxima capacidad de la biela (f_{1c}) se expresa como el producto de la resistencia del hormigón²⁰ (f_c) por un coeficiente reductor para tener en cuenta las deformaciones transversales a la biela (η_ε):

$$f_{1c} = \eta_\varepsilon \cdot f_c \quad (V.1)$$

La limitación de la tensión de la biela (σ_1) a su máxima capacidad resistente (f_{1c}) permite obtener la magnitud 'c' que define la posición del centro del nudo CCT respecto al borde superior de la pieza:

$$f_{1c} = \eta_\varepsilon \cdot f_c = \sigma_1 = \frac{C_1}{a \cdot b} = \frac{C_1}{(2 \cdot c \cdot \cos \theta_1) \cdot b} \quad (V.2)$$

donde:

- C_1 es la resultante de la biela diagonal que llega al nudo
- a es el ancho de la biela
- b es espesor de la región

V.2.1 Modelo con armadura ortogonal

En base a los resultados experimentales es posible concluir que la carga de rotura de las piezas está limitada por la capacidad resistente de la armadura horizontal ($T_{AsH,u}$). Dependiendo de la capacidad relativa de A_{sH} y A_{sV} se producirá o no una transmisión de carga hacia el primer estribo de cortante de la viga. Se proponen dos modelos ortogonales asociados a estas dos situaciones (véase Figura V.10).

En el primer caso (Figura V.10.a) la capacidad resistente de la armadura horizontal ($T_{AsH,u}$) no es suficiente como para llegar a plastificar la armadura vertical. Se considera que la resultante de las compresiones que salen de la zona nodal analizada sobre la cabeza de A_{sV} es perfectamente horizontal, de manera congruente con las observaciones experimentales es las que la inclinación observada era nula o muy reducida.

En el segundo modelo (Figura V.10.b) se limita la capacidad resistente del apoyo a la suma de las capacidades de la armadura vertical concentrada en la sección de cambio de canto ($T_{AsV,u}$) y de las restantes armaduras verticales ($T_{As3,u}$) existentes hasta una determinada distancia del apoyo según el criterio de la Figura V.11. La capacidad resistente $T_{As3,u}$ se dispondrá, en su caso, en el centro de

²⁰ En la denominación se omite la especificación del tipo de resistencia del hormigón a considerar: media (f_{cm}), característica (f_{ck}), de diseño (f_{cd}), plástica (f_{cp}), etc. De esta forma, una vez definido el coeficiente η_ε es posible aplicar la formulación tanto para calcular la carga de diseño de las piezas como para estimar la carga máxima experimental.

gravedad de las armaduras correspondientes. Las magnitudes a_1 y a_2 representan respectivamente las distancias de ambos tirantes verticales al eje del apoyo).

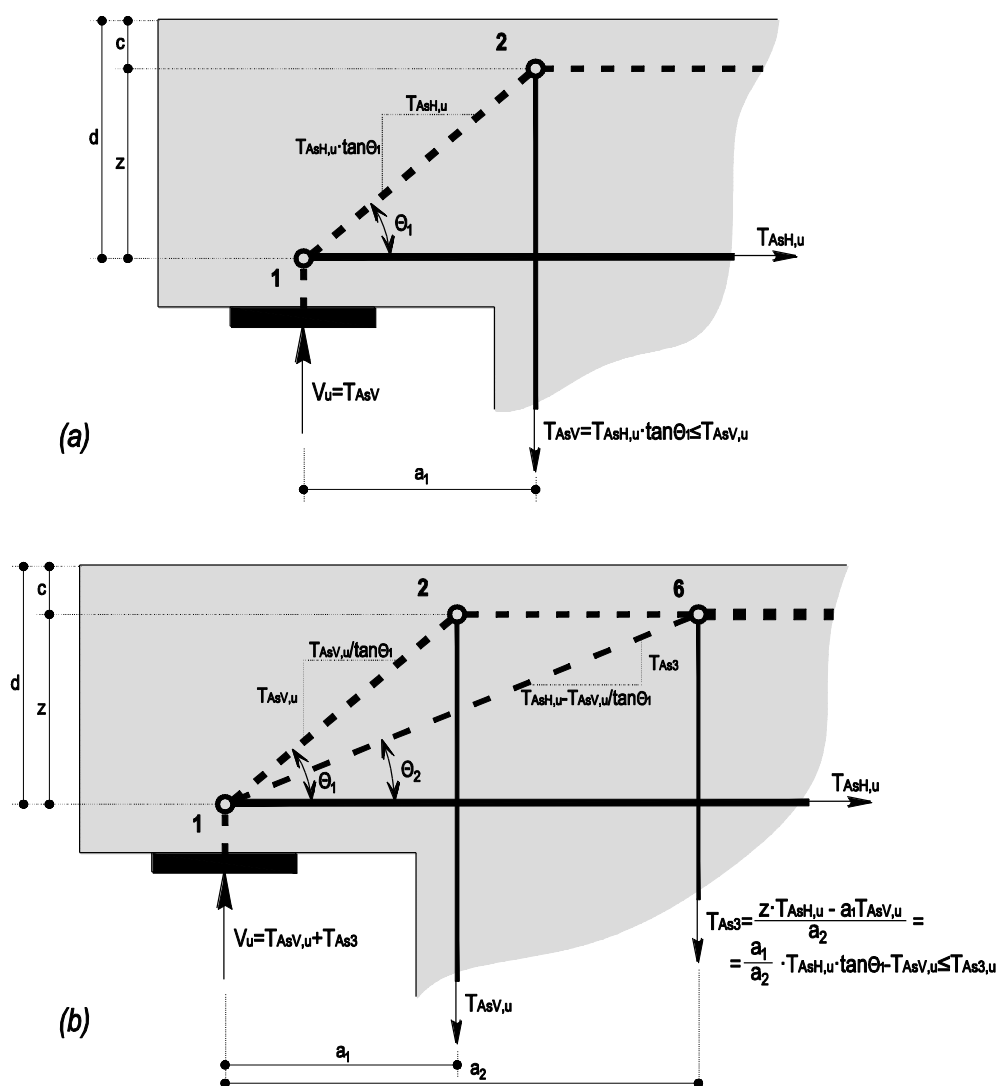


Figura V.10: Modelos de bielas y tirantes ortogonales propuestos para el cálculo simplificado en rotura

La limitación de la capacidad resistente en el segundo modelo a $T_{AsV,u} + T_{As3,u}$ habitualmente no llega a ser de aplicación: del total de 57 ensayos analizados en el apartado V.3 en que se desarrolla este modelo sólo en 12 el límite resulta de aplicación. La totalidad de estos casos se corresponden con piezas de la presente campaña experimental en las que la armadura A_{SV} estaba claramente infradimensionada o la armadura A_{SH} sobredimensionada respecto a la configuración de referencia (DEB-1.3, DEB-2.6, DEB-3.3, DEB-3.10, DEB-3.11 y DEB-3.12). La aplicación de este límite supone que la resistencia del apoyo no está condicionada por la armadura horizontal.

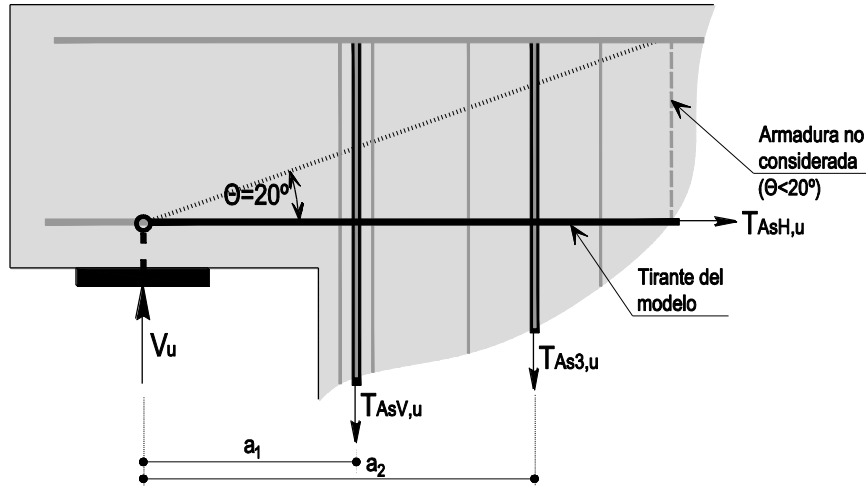


Figura V.11: Criterio para la inclusión de armaduras verticales en el modelo

Para poder aplicar las formulaciones propuestas en la Figura V.10 es necesario conocer la posición vertical del nudo 2 (definida indistintamente por las variables c , z , ó θ_1), la cual queda fijada por el criterio de rotura del nudo establecido en la ecuación (V.2). Esta posición se determina aplicando el criterio de rotura al modelo A de la Figura V.10 tanto en el caso de que se genere el modelo A o el modelo B. Esta forma de proceder asegura que la geometría determinada por el fallo del nudo 2 para el modelo A, da lugar a un modelo B en el cual se verifica el criterio de rotura tanto del nudo 2 como del nudo 6. A continuación pasa a desarrollarse la expresión para calcular la inclinación de la biela (θ_1).

Dado que en el modelo A de la Figura V.10 es conocida la componente horizontal de la biela diagonal de entrada al nudo 2 ($C_{1,x}=T_{AsH,u}$), el criterio de rotura de la biela dada por la ecuación (V.2) puede reescribirse como sigue:

$$\eta_\varepsilon \cdot f_c = \frac{C_1}{(2 \cdot c \cdot \cos \theta_1) \cdot b} = \frac{C_{1,x}}{2 \cdot b \cdot c \cdot \cos^2 \theta_1} = \frac{T_{AsH,u}}{2 \cdot b \cdot c \cdot \cos^2 \theta_1} \quad (V.3)$$

La magnitud 'c' que define la posición del nudo está relacionada con la inclinación de la biela a través de la siguiente expresión:

$$c = d - z = d - a_1 \cdot \tan \theta_1 \quad (V.4)$$

La aplicación a la ecuación (V.3) de la relación geométrica anterior permite desarrollar la siguiente solución explícita para la inclinación de la biela:

$$\tan \theta_1 = \frac{1}{\chi_A} \left(-a_1 + \sqrt{a_1^2 + \chi_A (2 \cdot d - \chi_A)} \right) \quad (V.5)$$

donde:

$$\chi_A = \frac{T_{AsH,u}}{\eta_\varepsilon \cdot f_c \cdot b}$$

La magnitud 'z' que define la posición vertical del cordón comprimido respecto al eje del tirante horizontal resulta:

$$z = a_1 \cdot \tan \theta_1 \tag{V.6}$$

Una vez determinada la geometría son de aplicación las formulaciones contenidas en la Figura V.10, desarrollándose el modelo A o B según si la capacidad resistente de la armadura horizontal permita o no agotar la capacidad resistente de la armadura vertical.

V.2.2 Modelo con armadura diagonal

A partir de los modelos de la Figura V.10 y considerando que la armadura diagonal desarrolla en rotura siempre su capacidad máxima resistente ($T_{AsD,u}$), se proponen los modelos de bielas y tirantes simplificados de la Figura V.12.

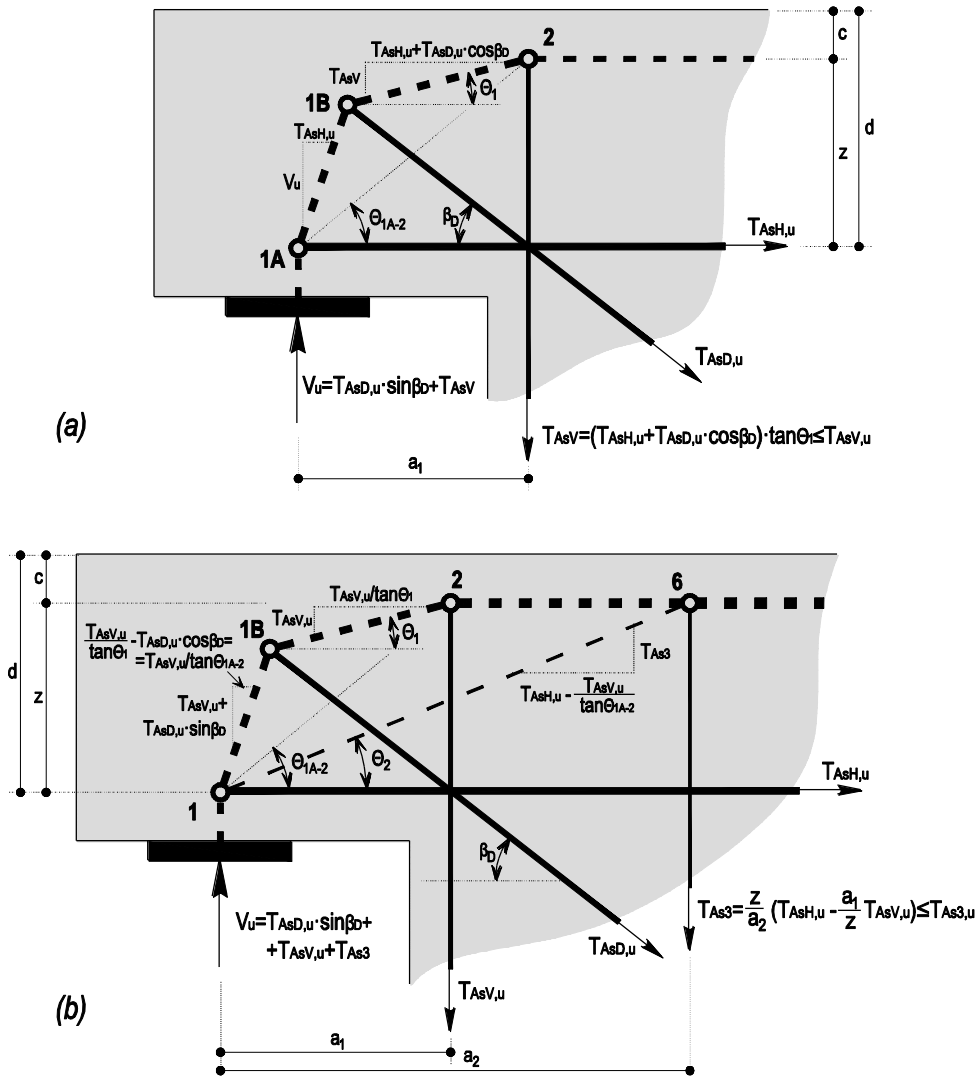


Figura V.12: Modelos de bielas y tirantes con armadura diagonal propuestos para el cálculo simplificado en rotura

De manera análoga a como se realizó anteriormente para el modelo ortogonal, la geometría de ambos modelos se define por el criterio de rotura del nudo 2 aplicado al modelo A de la Figura V.12. A diferencia de lo que sucedía en los modelos ortogonales, para los modelos con armadura diagonal el ángulo de entrada de la biela en el nudo 2 (θ_1) no queda ligado a la posición vertical de dicho nudo

(magnitudes c , z) exclusivamente por consideraciones geométricas. La ecuación (V.6) para este caso queda de la siguiente forma:

$$z = d - c = a_1 \cdot \tan \theta_{1A-2} \quad (V.7)$$

Se hace necesario establecer una relación entre el ángulo que define la posición vertical de las compresiones superiores (θ_{1A-2}) con el ángulo de entrada de la biela al nudo a comprobar (θ_1). Para ello se descompone la biela 1B-2 entre las componentes asociadas al esquema diagonal y al ortogonal, tal y como se muestra en la Figura V.13.

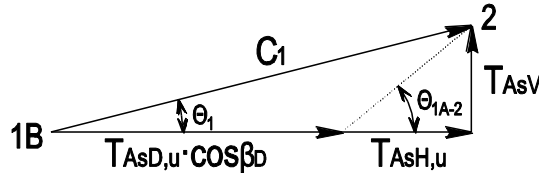


Figura V.13: Descomposición de biela de entrada al nudo 2

La descomposición mostrada en la Figura V.13 se realiza considerando que la posición de la armadura A_{sD} conduce a que la compresión horizontal resultante del esquema diagonal (véase Figura V.7.b) se produce a la altura del nudo 2. El empleo de esta hipótesis permite obtener una solución explícita que conduce a unas estimaciones suficientemente adecuadas, tal y como se verá posteriormente en el apartado V.3.

La descomposición de la biela contenida en la Figura V.13 permite establecer la siguiente relación entre los ángulos θ_{1A-2} y θ_1 :

$$\tan \theta_{1A-2} = \frac{T_{AsH,u} + T_{AsD,u} \cdot \cos \beta_D}{T_{AsH,u}} \tan \theta_1 = \lambda_B \cdot \tan \theta_1 \quad (V.8)$$

Al ser conocida en este caso la componente horizontal de la biela diagonal de entrada al nudo 2 ($C_{1,x} = T_{AsH,u}$) se emplea el criterio de rotura de la biela de la ecuación (V.2) expresada en función de dicha componente:

$$\eta_\varepsilon \cdot f_c = \frac{C_{1,x}}{2 \cdot b \cdot c \cdot \cos^2 \theta_1} = \frac{T_{AsH,u} + T_{AsD,u} \cdot \cos \beta_D}{2 \cdot b \cdot c \cdot \cos^2 \theta_1} \quad (V.9)$$

Las ecuaciones (V.7), (V.8) y (V.9) permiten obtener la siguiente solución explícita para la inclinación de la biela de entrada al nudo:

$$\tan \theta_1 = \frac{1}{\chi_B} \left(-\lambda_B a_1 + \sqrt{(\lambda_B a_1)^2 + \chi_B (2 \cdot d - \chi_B)} \right) \quad (V.10)$$

donde:

$$\chi_B = \frac{T_{AsH,u} + T_{AsD,u} \cdot \cos \beta_D}{\eta_\varepsilon \cdot f_c \cdot b}$$

$$\lambda_B = \frac{T_{AsH,u} + T_{AsD,u} \cdot \cos \beta_D}{T_{AsH,u}}$$

La ecuación (V.10) es análoga a la ecuación (V.5) correspondiente al modelo ortogonal. El término χ incorpora en este caso la componente horizontal de la capacidad resistente de la armadura diagonal; además la distancia a_1 aparece multiplicada por el término λ_B que relaciona los ángulos θ_{1A-2} y θ_1 . La expresión ortogonal queda perfectamente definida como una particularización de la expresión con armadura diagonal.

V.2.3 Modelo con carga inclinada

Los modelos anteriores sólo contemplan la aplicación de una carga vertical. En el diseño de los AMM es habitual contemplar una carga horizontal considerada hacia el exterior del elemento. Se extienden a continuación los modelos simplificados anteriores incluyendo una componente horizontal de la carga. Dado que los modelos ortogonales son una particularización de los diagonales, se desarrolla la extensión sólo para el modelo con carga inclinada. Se considera en el modelo una carga horizontal (H_u) aplicada hacia el exterior de los AMM, situada a una distancia a_3^{21} por debajo del eje de la armadura A_{SH} . Se obtienen los modelos de la Figura V.14.

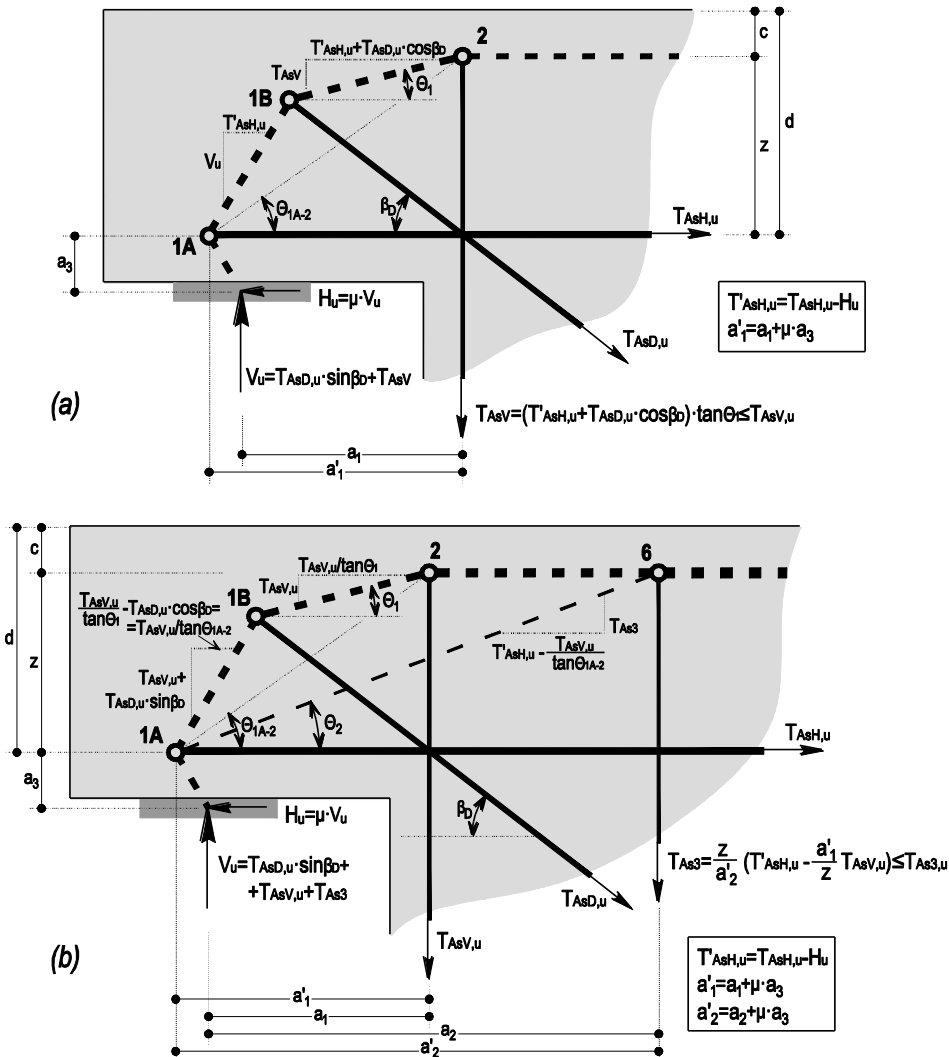


Figura V.14: Modelos de bielas y tirantes con carga inclinada propuestos para el cálculo simplificado en rotura

²¹ En lugar del recubrimiento al eje de la armadura A_{SH} se toma la distancia genérica a_3 en la formulación.

La carga exterior horizontal está resistida exclusivamente por la armadura horizontal. De esta forma el modelo propuesto es equivalente al obtenido para carga vertical, con las siguientes variaciones:

- Se emplea una capacidad resistente modificada para la armadura horizontal ($T'_{AsH,u}$) descontándose la capacidad empleada para resistir la carga horizontal.
- Se considera la traslación horizontal del nudo 1A que induce la carga horizontal, mediante el empleo de las magnitudes corregidas a'_1 y a'_2 .

En base a estas consideraciones resulta la siguiente formulación para determinar la geometría de los modelos simplificados:

$$\tan \theta_1 = \frac{1}{\chi_C} \left(-\lambda_C a'_1 + \sqrt{(\lambda_C a'_1)^2 + \chi_C (2 \cdot d - \chi_C)} \right) \quad (V.11)$$

donde:

$$\chi_C = \frac{T'_{AsH,u} + T_{AsD,u} \cdot \cos \beta_D}{\eta_\varepsilon \cdot f_c \cdot b}$$

$$\lambda_C = \frac{T'_{AsH,u} + T_{AsD,u} \cdot \cos \beta_D}{T'_{AsH,u}}$$

$$T'_{AsH,u} = T_{AsH,u} - H_u$$

$$a'_1 = a_1 + \mu \cdot a_3$$

Determinado el ángulo de entrada de la biela al nudo 2 la posición vertical de dicho nudo respecto a la armadura horizontal queda definida por la siguiente expresión:

$$z = \lambda_C \cdot a'_1 \cdot \tan \theta_1 \quad (V.12)$$

La resolución en este caso sería totalmente similar al caso con carga vertical si se conocieran de manera exacta tanto la componente horizontal de la carga aplicada (H_u), como la relación (μ) entre ésta y la carga vertical, no obstante, sólo uno de las dos componentes será dato. Para estimar la componente desconocida se requiere tener una estimación de la carga vertical última del apoyo (V_u). En ausencia de una iteración previa se propone estimar la carga vertical del apoyo ($V_{u,est}$) mediante la siguiente relación que define el límite entre el modelo A y el B:

$$V_{u,est} = T_{AsV,u} + T_{AsD,u} \cdot \sin \beta_D \quad (V.13)$$

En caso de que la carga finalmente calculada fuera sustancialmente distinta a la propuesta, es aconsejable rehacer el cálculo tomando el valor de la carga para estimar la componente horizontal de la carga.

V.2.4 Ámbito de aplicación

El procedimiento propuesto permite, de manera simplificada, determinar la capacidad resistente de los AMM para un rango amplio de tipologías; existen, sin embargo, configuraciones en las que no resulta de aplicación. Dichas configuraciones se detallan a continuación. En estos casos, o cuando se

requiera un mayor grado de precisión, resulta aconsejable acudir a modelos de un nivel de aproximación superior, como pueden ser los modelos de campos de tensiones elasto-plásticos expuestos en el Capítulo VI (véase definición de niveles de aproximación según MC-2010 [13]).

Por lo que respecta al pretensado de la armadura horizontal, tal y como se indicó en el apartado IV.5.3.2, no se ha observado que éste modifique sustancialmente la carga última de las piezas, dado que la capacidad resistente conjunta del tirante compuesto por el acero pretensado y el hormigón precomprimido es idéntica a la del tirante sin pretensar. Cuando se pretense exclusivamente la armadura horizontal se aplicará el procedimiento propuesto considerando para A_{SH} su capacidad mecánica total sin introducir el esfuerzo de pretensado. El procedimiento no contempla otras disposiciones de pretensado.

La metodología simplificada propuesta no considera la existencia de armaduras secundarias sobre el apoyo dado que, para la geometría de los elementos y las cuantías de estas armaduras estudiadas en la campaña experimental, no se ha observado que éstas influyan sustancialmente en la carga máxima de las piezas. En otros ensayos de la bibliografía sí que se observa que influyen de manera relevante a la carga última alcanzada; se trata de casos con geometrías con bielas diagonales muy alejadas de 45° , o en que se disponen dichas armaduras con una elevada cuantía. Estos casos se escapan del alcance de la formulación simplificada propuesta, la cual quedará muy del lado de la seguridad.

Cuando la configuración de la armadura vertical no esté constituida por un estribo o una banda concentrada de estribos, tal y como sucede en los ensayos para los que se ha contrastado la metodología propuesta, dicha configuración debería asimilarse a la considerada en el modelo.

Por último, cabe destacar que queda fuera del alcance del método propuesto el análisis de hormigones reforzados con fibras.

Por otra parte, no debe olvidarse que el método propuesto sirve para definir geoméricamente el modelo de bielas y tirantes y determinar simplificadaamente la carga última de los AMM. La aplicación en sentido estricto del método de bielas y tirantes exige realizar la comprobación de todas las bielas y zonas nodales de la región D.

V.3 Determinación de resistencia de la biela y contraste de los modelos simplificados propuestos para el cálculo en rotura

Los modelos simplificados para el cálculo en rotura se aplican para determinar la carga última de aquellos ensayos de entre los contenidos en el presente estudio y en los de una selección de autores (Ajina [41], Clark & Thorogood [45], [46], Zhu et al. [53] y Herzinger [4], [32]) que estén dentro de los límites previamente descritos de aplicabilidad del método. Varios de los estudios previamente documentados en el apartado II.2 no pueden ser analizados ya que todas las piezas ensayadas disponen armadura secundaria sobre los apoyos.

Para estimar la carga máxima de las piezas se toma la capacidad resistente de los tirantes dada por su límite elástico. Esta forma de proceder, al no contar con la reserva resistente dada por el

endurecimiento de las armaduras en la fase de redistribución plástica, hace que las estimaciones queden en promedio ligeramente del lado de la seguridad.

Para definir la resistencia de la biela, $\eta_\varepsilon \cdot f_c$ según la fórmula (V.2), se analizan los resultados del modelo propuesto para las resistencias propuestas por varias normativas, previamente definidas en la Tabla II.1. En la Tabla V.1 se muestran los principales resultados de estos análisis: promedio y coeficiente de variación del ratio entre carga experimental ($V_{u,exp}$) y carga predicha ($V_{u,model}$).

Comparando los resultados obtenidos a partir de resistencias de 0.4 y $0.6 \cdot f_{cm}$, se observa que la sensibilidad del modelo respecto a la resistencia de la biela considerada es escasa, exceptuando los resultados de los dos ensayos de Ajina²² analizados. Esta escasa sensibilidad del modelo al valor de resistencia del hormigón se debe a que el modelo considera un modo de fallo con plastificación previa del acero, de acuerdo con las observaciones experimentales realizadas. La formulación propuesta por el MC-2010 [13] y la SIA-262 [14] para la resistencia más baja de las bielas es muy similar a la especificada por el EC-2 [12], tal y como se discutió con anterioridad en el apartado II.1.1, y se sitúa aproximadamente en $0.5 \cdot f_{cm}$ para resistencias en el entorno de los 40 MPa. Los resultados en ambos casos son muy similares y están contenidos entre los límites marcados por los resultados asociados a las resistencias especificadas por la EHE-08 [2]: 0.4 y $0.6 \cdot f_{cm}$.

Tabla V.1: Síntesis de resultados del modelo simplificado para distintas resistencias de la biela (cociente $V_{u,exp}/V_{u,model}$)

	Nº ensayos	$0.4 \cdot f_{cm}$ [EHE-08]		$0.6 \cdot f_{cm}$ [EHE-08]		$0.6 \cdot v' \cdot f_{cm}$ [EC-02]		$0.55 \cdot f_{cp}$ [MC-2010] [SIA262]	
		Prom.	CoV	Prom.	CoV	Prom.	CoV	Prom.	CoV
Ajina [41]	2	1.22	0.14	1.08	0.16	1.12	0.16	1.10	0.16
Clark & Thorogood [45], [46]	10	1.10	0.10	1.06	0.11	1.08	0.10	1.07	0.10
Zhu et al. [53]	4	1.22	0.14	1.19	0.16	1.20	0.15	1.21	0.15
Herzinger [4], [32]	13	1.07	0.07	1.03	0.06	1.04	0.07	1.04	0.07
Estudio actual	44	1.08	0.07	1.04	0.08	1.05	0.08	1.05	0.08
Todos	73	1.09	0.09	1.05	0.10	1.06	0.09	1.06	0.09

A la vista de los resultados anteriores, se propone considerar la formulación propuesta por el MC-2010 [13] y la SIA-262 [14] como valor de resistencia para el procedimiento simplificado propuesto. Con esta resistencia se obtiene para el total de 73 ensayos analizados (44 del presente estudio y 29 de otros autores) un ajuste con un coeficiente de variación del 9%, con un promedio entre la carga experimental y la predicha de 1.06. Estos resultados verifican la bondad del modelo propuesto; con una formulación muy simplificada se consigue un ajuste bastante preciso de los resultados con una dispersión controlada.

En la Tabla V.2 se detallan los distintos cálculos realizados mientras que en la Figura V.15 se sintetizan los resultados de manera gráfica.

²² La variabilidad en los resultados de Ajina encuentra su explicación en las reducidas dimensiones de las piezas ensayadas, con un canto sobre el apoyo de entre 10 y 13 cm. La carga última es muy sensible a pequeñas variaciones en la geometría.

Tabla V.2: Detalle de resultados del modelo simplificado (resistencia de la biela $0.55 \cdot f_{cp}$)

Estudio	Ensayo	$T_{AsH,u}$ (kN)	$T_{AsV,u}$ (kN)	$T_{AsV,u} \cdot \sin\beta$ (kN)	$T_{As3,u}$ (kN)	Θ_{1A2} (°)	z/d	Modelo	Θ_2 (°)	$V_{u,test}$ (kN)	$V_{u,model}$ (kN)	$V_{u,test}/V_{u,model}$
Ajina [41]	B2	69.8	58.4	0.0	29.2	29.2	0.79	A	17.7	48.0	39.1	1.23
	B6	69.8	58.4	0.0	29.2	22.3	0.76	A	13.2	28.0	28.6	0.98
Clark & Thorogood [45-46]	3	60.3	60.3	38.6	94.2	46.3	0.94	B	25.1	117.0	100.2	1.17
	4	271.4	188.5	111.2	116.5	39.3	0.79	B	21.5	329.0	315.9	1.04
	7	60.3	60.3	38.6	94.2	61.0	0.90	B	29.3	135.5	114.0	1.19
	8	271.4	188.5	111.2	116.5	49.3	0.66	B	22.3	370.5	344.3	1.08
	9	94.2	135.7	0.0	94.2	58.5	0.82	B	27.0	135.5	141.4	0.96
	10	339.3	271.4	0.0	135.7	48.4	0.64	B	21.7	326.0	310.5	1.05
	11	188.5	135.7	0.0	94.2	43.5	0.85	B	23.0	141.0	155.0	0.91
	12	271.4	271.4	0.0	135.7	39.7	0.80	A	21.7	226.0	225.5	1.00
	17	60.3	60.3	38.6	94.2	60.8	0.89	B	29.1	146.0	113.7	1.28
	18	60.3	60.3	38.6	94.2	46.2	0.93	B	25.0	107.0	100.1	1.07
Zhu et al. [53]	T4	626.2	375.7	0.0	250.5	49.2	0.82	B	23.5	571.6	507.1	1.13
	T5	375.7	375.7	279.2	250.5	51.1	0.87	B	24.9	920.8	688.6	1.34
	T6	375.7	626.2	0.0	250.5	51.4	0.88	A	25.2	467.1	470.6	0.99
	T7	375.7	375.7	465.4	250.5	51.2	0.88	B	25.0	1196.6	875.5	1.37
Herzinger [4],[32]	DE-A-1.0 (T1)	300.6	172.0	0.0	86.0	44.2	0.74	B	23.8	216.0	208.2	1.04
	DE-A-1.0 (T2)	300.6	172.0	0.0	86.0	45.3	0.77	B	24.7	255.0	212.5	1.20
	DE-A-0.5 (T1)	300.6	172.0	0.0	86.0	44.2	0.74	B	23.8	231.0	208.1	1.11
	DE-B-1.0 (T1)	359.5	145.6	0.0	86.0	43.3	0.69	B	21.7	203.0	210.5	0.96
	DE-B-1.0 (T2)	359.5	145.6	0.0	86.0	43.6	0.70	B	21.9	226.0	211.6	1.07
	DE-B-0.5 (T1)	359.5	145.6	0.0	86.0	43.0	0.68	B	21.5	205.0	209.4	0.98
	DE-B-0.5 (T2)	359.5	145.6	0.0	86.0	43.0	0.68	B	21.5	222.0	209.4	1.06
	DE-C*-1.0 (T1)	86.0	86.0	243.5	86.0	52.2	0.89	A	29.1	260.0	281.6	0.92
	DE-D-1.0 (T1)	202.3	72.8	100.0	86.0	47.9	0.81	B	22.5	220.0	211.9	1.04
	DE-Du-1.0 (T1)	202.3	72.8	100.0	86.0	47.7	0.80	B	22.4	213.0	211.5	1.01
	DE-Du-1.0 (T2)	202.3	72.8	100.0	86.0	47.7	0.81	B	22.4	222.0	211.6	1.05
	DE-D*-1.0 (T1)	127.2	63.5	114.7	86.0	51.0	0.88	B	25.6	214.0	195.7	1.09
	DE-D*-1.0 (T2)	127.2	63.5	114.7	86.0	51.1	0.88	B	25.6	203.0	195.8	1.04
	Estudio actual	DEB-1.1 (T1)	222.5	151.2	0.0	62.2	41.3	0.84	B	23.3	193.6	173.0
DEB-1.2 (T1)		133.5	151.2	0.0	62.2	43.1	0.90	A	24.6	145.8	124.9	1.17
DEB-1.2 (T2)		133.5	151.2	0.0	62.2	43.1	0.90	A	24.6	132.7	124.9	1.06
DEB-1.3 (T1)		222.5	62.2	0.0	62.2	41.3	0.84	B	23.3	121.1	124.5	0.97
DEB-1.3 (T2)		222.5	62.2	0.0	62.2	41.3	0.84	B	23.3	133.0	124.5	1.07
DEB-1.4 (T1)		222.5	155.4	0.0	62.2	37.5	0.86	B	23.7	183.0	164.2	1.11
DEB-1.4 (T2)		222.5	155.4	0.0	62.2	37.5	0.86	B	23.7	170.4	164.2	1.04
DEB-1.5 (T1)		133.5	155.4	0.0	62.2	39.2	0.91	A	25.0	125.3	108.7	1.15
DEB-1.6 (T1)		442.0	294.5	0.0	107.0	32.3	0.71	A	19.8	309.2	279.1	1.11
DEB-1.6 (T2)		442.0	294.5	0.0	107.0	32.3	0.71	A	19.8	250.9	279.1	0.90
DEB-1.7 (T1)		247.0	294.5	0.0	107.0	36.1	0.82	A	22.6	194.4	180.1	1.08
DEB-1.7 (T2)		247.0	294.5	0.0	107.0	36.1	0.82	A	22.6	188.8	180.1	1.05
DEB-1.8 (T1)		308.8	201.9	0.0	84.5	35.1	0.79	B	21.9	195.3	210.5	0.93
DEB-1.8 (T2)		308.8	201.9	0.0	84.5	35.1	0.79	B	21.9	199.1	210.5	0.95
DEB-1.9 (T1)		185.3	201.9	0.0	84.5	37.6	0.86	A	23.8	141.7	142.7	0.99
DEB-1.9 (T2)		185.3	201.9	0.0	84.5	37.6	0.86	A	23.8	145.5	142.7	1.02
DEB-2.1 (T1)		133.5	93.3	65.1	62.2	42.9	0.89	B	24.4	194.9	173.4	1.12
DEB-2.1 (T2)		133.5	93.3	65.1	62.2	42.9	0.89	B	24.4	199.6	173.4	1.15
DEB-2.2 (T1)		247.0	171.0	121.6	107.0	39.3	0.79	B	21.8	321.8	307.8	1.05
DEB-2.2 (T2)		247.0	171.0	121.6	107.0	39.3	0.79	B	21.8	329.8	307.8	1.07
DEB-2.3 (T1)		185.3	123.5	90.3	84.5	41.0	0.83	B	23.1	240.5	232.2	1.04
DEB-2.4 (T1)		172.3	124.8	171.3	111.4	40.9	0.83	B	23.0	311.9	308.0	1.01
DEB-2.4 (T2)		172.3	124.8	171.3	111.4	40.9	0.83	B	23.0	309.4	308.0	1.00
DEB-2.5 (T1)		87.3	55.7	205.6	111.4	42.3	0.87	B	24.0	265.1	272.9	0.97
DEB-2.5 (T2)		87.3	55.7	205.6	111.4	42.3	0.87	B	24.0	294.9	272.9	1.08
DEB-2.6 (T1)		437.4	55.7	205.6	111.4	35.2	0.68	B	19.1	328.1	372.7	0.88
DEB-3.1 (T1)		172.3	124.8	171.3	111.4	40.6	0.82	B	22.7	317.9	307.1	1.04
DEB-3.1 (T2)		172.3	124.8	171.3	111.4	40.6	0.82	B	22.7	340.2	307.1	1.11
DEB-3.2 (T1)		87.3	55.7	205.6	111.4	42.3	0.87	B	24.0	312.0	272.9	1.14
DEB-3.2 (T2)		87.3	55.7	205.6	111.4	42.3	0.87	B	24.0	318.6	272.9	1.17
DEB-3.3 (T1)		437.4	55.7	205.6	111.4	35.3	0.68	B	19.1	350.4	372.7	0.94
DEB-3.3 (T2)		437.4	55.7	205.6	111.4	35.3	0.68	B	19.1	336.5	372.7	0.90
DEB-3.4 (T1)		461.2	299.0	0.0	110.4	32.5	0.71	A	20.0	261.6	294.0	0.89
DEB-3.4 (T2)		461.2	299.0	0.0	110.4	32.5	0.71	A	20.0	266.1	294.0	0.91
DEB-3.5 (T1)		248.0	175.0	122.7	110.4	39.2	0.78	B	21.8	339.8	311.2	1.09
DEB-3.5 (T2)		248.0	175.0	122.7	110.4	39.2	0.78	B	21.8	342.4	311.2	1.10
DEB-3.6 (T1)		310.0	208.9	0.0	89.1	35.6	0.80	B	22.2	227.0	216.3	1.05
DEB-3.6 (T2)		310.0	208.9	0.0	89.1	35.6	0.80	B	22.2	221.3	216.3	1.02
DEB-3.10 (T1)		617.8	51.2	201.4	102.4	32.5	0.61	B	17.3	354.9	355.0	1.00
DEB-3.10 (T2)		617.8	51.2	201.4	102.4	32.5	0.61	B	17.3	370.2	355.0	1.04
DEB-3.11 (T1)	926.7	51.2	201.4	102.4	28.0	0.51	B	14.6	411.2	355.0	1.16	
DEB-3.11 (T2)	926.7	51.2	201.4	102.4	28.0	0.51	B	14.6	395.3	355.0	1.11	
DEB-3.12 (T1)	1235.6	51.2	201.4	102.4	23.9	0.42	B	12.2	403.9	355.0	1.14	
DEB-3.12 (T2)	1235.6	51.2	201.4	102.4	23.9	0.42	B	12.2	413.3	355.0	1.16	

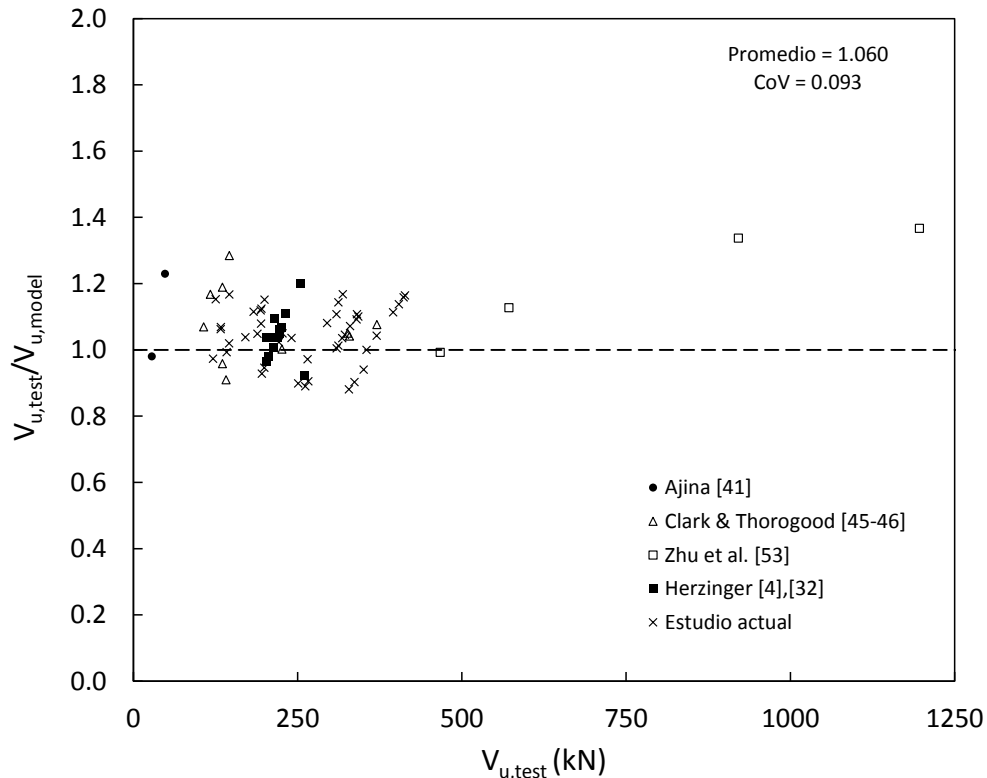


Figura V.15: Síntesis de resultados para carga última del modelo de bielas y tirantes simplificado

De entre los resultados menos precisos cabe destacar los Zhu [53] para las piezas con armadura diagonal (T5 y T7). Estas piezas quedan muy del lado de la seguridad. El análisis con campos de tensiones elasto-plásticos que posteriormente se expondrá en el Capítulo VI (véase Figura VI.18) da unos resultados consistentes con los aquí obtenidos, también visiblemente del lado de la seguridad para estas piezas. No se encuentra ninguna justificación física a estos resultados.

El otro estudio que presenta una dispersión elevada (coeficiente de variación superior al 10%) es el de Ajina [41] correspondiente al análisis de tan sólo 2 ensayos. En este caso la variabilidad sí que tiene una justificación física. Tal y como se indicó anteriormente estas piezas tienen unas dimensiones muy reducidas; en estas condiciones los resultados son muy sensibles a variaciones en la geometría y en la resistencia del hormigón.

Capítulo VI

Modelos de campos de tensiones elasto-plásticos (EPSF)

El presente capítulo tiene como objetivo estudiar, desarrollar y aplicar los modelos de campos de tensiones elasto-plásticos al análisis de apoyos a media madera (AMM). En adelante el presente estudio se referirá a dichos modelos por EPSF, el acrónimo de su denominación en inglés (*Elasto plastic stress fields*). Con anterioridad, en el apartado II.1.2 se hizo una introducción general a los campos de tensiones. A continuación se describen las hipótesis básicas del modelo de EPSF, pasándose a abordar las mejoras aplicadas al modelo para poder simular adecuadamente los ensayos realizados: incluir elementos adicionales en la zona de recubrimiento para considerar la energía de fractura y establecer una ecuación constitutiva del hormigón en tracción para reproducir el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA). El modelo de EPSF con las modificaciones propuestas se aplica a los resultados de la campaña experimental realizada, evaluándose su bondad tanto respecto a los resultados de carga última, como del reparto de mecanismos resistentes en función del nivel de carga o de las deformaciones de las armaduras. Para terminar se aplica el procedimiento a otras campañas experimentales permitiendo validar el empleo del modelo EPSF para el análisis de AMM con un amplio rango de configuraciones geométricas, de armado y disposiciones de carga.

El presente capítulo ha sido desarrollado en colaboración con Miguel Fernández Ruiz y Aurelio Muttoni, fruto de las estancias realizadas por el autor en el Structural Concrete Laboratory (IBETON) de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne dirigido por el profesor Muttoni. En lo relativo a la modelización del hormigón con fibras se ha contado además con las aportaciones de Dario Redaelli del Institut des Technologies de l'Environnement Construit (iTEC) de la Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg.

Los resultados de la aplicación del modelo de EPSF a ensayos de AMM, entre ellos los expuestos en el presente trabajo, realizados en el Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón de la Universitat Politècnica de València bajo la dirección de Pedro Miguel Sosa y Luis Pallarés Rubio, se han

incorporado a la base de datos existente en el instituto IBETON y son de libre acceso a través de la siguiente dirección:

<http://i-concrete.epfl.ch/EPsf/EPsf.html>

VI.1 Bases teóricas

Tal y como se indicaba en el apartado II.1.3, los campos de tensiones elasto-plásticos (EPsf) son una herramienta informática que permite automatizar la determinación de un campo de tensiones adecuado en elementos estructurales de hormigón. La metodología, propuesta por Fernández Ruiz y Muttoni [25], se basa en el método de los elementos finitos y permite generar una solución en equilibrio con las fuerzas exteriores, considerando las propiedades plásticas de los materiales y teniendo en cuenta además la influencia negativa que tiene la fisuración transversal en la resistencia a compresión del hormigón [78]. Este enfoque, pese a su simplicidad respecto a modelos constitutivos más complejos, ha demostrado ser una estrategia de cálculo adecuada cuando se garantiza la existencia de una armadura transversal mínima que impida la concentración de fisuras [25].

Por su simplicidad es una metodología apta para el diseño de nuevas estructuras permitiendo la optimización del armado, según la estrategia propuesta por Fernández Ruiz y Muttoni [25], dado que contabiliza todas las reservas resistentes y el efecto de armaduras constructivas habitualmente no consideradas en el cálculo.

Los campos de tensiones elasto-plásticos son además especialmente adecuados para evaluar la capacidad resistente de estructuras existentes permitiendo evitar o minimizar los refuerzos necesarios. Tal y como indican Muttoni et al. [79], los modelos de EPsf permiten calcular, para una geometría y armado dados, la solución con la máxima resistencia de entre todas aquellas que verifican el teorema del límite inferior de la plasticidad [19].

A diferencia de los modelos de bielas y tirantes o de campos de tensiones, los EPsf verifican las condiciones de compatibilidad y permiten por tanto realizar un análisis en estado límite de servicio [79]. Esta propiedad resulta de especial importancia para el presente estudio, ya que posibilita el cálculo de la abertura de fisura en estos elementos a partir de los resultados de deformaciones de las armaduras en servicio, tal y como se verá en el Capítulo VII.

A continuación se sintetizan las principales características del modelo numérico:

- Se trata de un modelo bidimensional con elementos triangulares de deformación constante para el hormigón y uniaxiales para las armaduras.
- El comportamiento del hormigón se considera ortótropo en las dos direcciones principales. Para cada una de ellas se supone una relación tensión deformación elasto-plástica perfecta en compresión, y resistencia a tracción despreciable. La resistencia plástica a compresión depende de la resistencia plástica uniaxial (f_{cp}), previamente definida en la ecuación (II.3), y de la deformación transversal (ϵ_t), a través del coeficiente η_ϵ propuesto por Vecchio y Collins [78]:

$$\eta_\varepsilon = \frac{1}{0.8 + 170 \cdot \varepsilon_t} \neq 1 \quad (\text{VI.1})$$

- El comportamiento del acero se considera elasto-plástico, pudiéndose especificar una rama de endurecimiento para definir un comportamiento teórico más parecido a las propiedades experimentales obtenidas.
- Se considera adherencia perfecta entre acero y hormigón.
- La dirección de las compresiones principales se supone idéntica a la de las deformaciones principales, no considerándose por tanto el engranamiento de áridos.

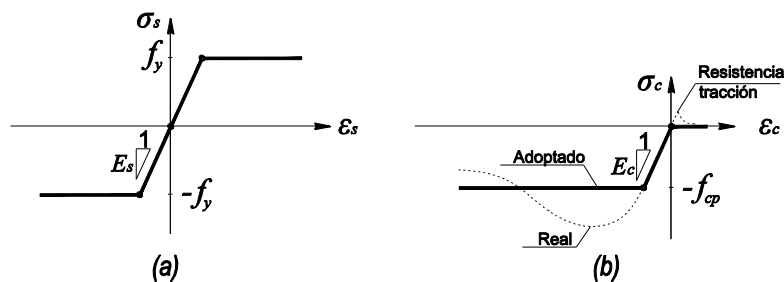


Figura VI.1: Leyes constitutivas de los materiales en los modelo EPSF: (a) acero; (b) hormigón

El sistema de ecuaciones no lineales generadas por el modelo se resuelve por el método de Newton-Raphson ensamblando la matriz de rigidez tangente [25]. No se impone una limitación a las deformaciones máximas de los materiales; la carga de rotura se determina mediante escalones de carga siendo la carga máxima la mayor que es capaz de equilibrar el sistema. Como criterio de convergencia para cada escalón de carga se considera la estabilidad de la norma de los residuos.

El tamaño de la malla ha sido seleccionado mediante estudios previos de forma que éste no tenga una influencia significativa en los resultados (véase tamaño de malla final en Figura VI.2 y Figura VI.15).

La utilización de un factor de reducción de la resistencia a compresión del hormigón en función de la deformación transversal de tracción requiere que esta última sea evaluada con suficiente precisión. La adopción de la hipótesis de resistencia a tracción despreciable en el hormigón supone que las deformaciones transversales a la dirección de compresión están controladas, en caso de existir, exclusivamente por las armaduras transversales. Por consiguiente, para garantizarse una adecuada precisión, los modelos de EPSF requieren de la existencia de una armadura transversal mínima, o bien ser aplicados a elementos en los que no se generen concentraciones de deformaciones (tal y como se verá en el apartado VI.2.2.1). De no verificarse estas condiciones las deformaciones transversales evaluadas por el modelo son irreales y pueden predecirse roturas prematuras por compresión del hormigón. Éste es el caso que se da por la ausencia local de armadura transversal en recubrimientos comprimidos en los que es necesario desviar las compresiones.

Dado que en los ensayos realizados en este trabajo se ha observado que la existencia de tensiones transversales al recubrimiento puede generar el salto del recubrimiento (*spalling*),

condicionando el tipo y la carga de rotura (véase apartado IV.4), ha sido necesario extender el modelo EPSF descrito incluyendo unos elementos transversales para modelizar el recubrimiento (véase VI.2.1).

Por otra parte, en algunos de los ensayos realizados se ha utilizado hormigón reforzado con fibras. Dado que el comportamiento de este material no puede reproducirse con las hipótesis anteriores, se ha extendido el modelo para este tipo de material (véase VI.2.2).

VI.2 Extensión de los límites de aplicación de los campos de tensiones elasto-plásticas

A continuación se desarrollan las dos extensiones de los EPSF realizadas que permiten simular adecuadamente fenómenos de *spalling* y piezas ejecutas con hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA). Dichas extensiones han requerido modificar el código fuente del programa.

VI.2.1 Fenómenos de *spalling*

VI.2.1.1 Introducción

Las roturas por desprendimiento del recubrimiento (*spalling*) pueden afectar a elementos de hormigón sometidos a acciones de compresión, como pueden ser soportes, nudos exteriores de pórticos o apoyos a media madera (véase Fotografía IV.2). Algunos de estos elementos son susceptibles de ser simulados mediante modelos bidimensionales. En estos casos los modelos de EPSF son capaces de predecir las roturas en la que se produce *spalling*, sin embargo, en ocasiones, los resultados obtenidos son claramente conservadores si no se hace una modelización específica del recubrimiento comprimido.

Los resultados son conservadores debido a que en los modelos de EPSF se desprecia la resistencia a tracción. Al no contar el modelo con resistencia a tracción en el recubrimiento, se generan en él deformaciones transversales de tracción importantes. Esto hace que a través del factor de reducción η_ϵ –ecuación (VI.1)– se pierda la contribución a compresión del recubrimiento y los modelos de EPSF en estos casos no sean capaces de alcanzar las resistencias reales.

En la Figura VI.2 se muestran los resultados de los modelos de EPSF sin una modelización específica del recubrimiento para la pieza DEB-1.6; el modo de fallo de esta pieza para sus dos ensayos era SY-SP (rotura con plastificación de las armaduras condicionada por el *spalling*). Se observa que en el modelo se predice el fallo por *spalling*, pero que no se llega a producir la plastificación de las armaduras (grafada en rojo oscuro). Ello hace que la estimación de la carga dada por los EPSF sea sobre un 30% inferior a la experimental.

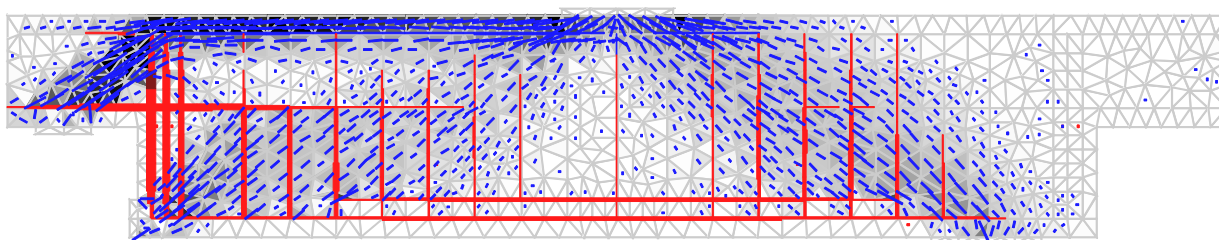


Figura VI.2: Modelo de EPSF para la configuración DEB-1.6 sin resistencia a tracción en el recubrimiento: tensiones relativas a la carga máxima (negro denota que se ha alcanzado la plastificación del hormigón).

Con el objeto de impedir que se produzcan roturas prematuras en el modelo, pero que éste sea capaz de captar el fenómeno de *spalling* realmente observado en los ensayos, el cual condiciona en ocasiones la carga de rotura, se ha desarrollado un elemento finito que simula el proceso de fisuración del recubrimiento considerando la energía de fractura (G_f). Este procedimiento de modelización del recubrimiento puede ser aplicado de manera consistente en todos los casos; no obstante, sólo son esperables aumentos significativos de la carga predicha en aquellos casos en los que el modelo hubiera predicho una rotura prematura por debilitamiento del recubrimiento del hormigón sin alcanzarse la plastificación de las armaduras.

VI.2.1.2 Modelización propuesta del recubrimiento

Se propone adoptar un modelo de fisura cohesiva discreta para simular de manera adecuada la movilización de tensiones en el recubrimiento en zonas con fallos por *spalling*. Dicho modelo se materializa mediante elementos de tipo barra que conectan la potencial fisura de *spalling* con el borde de la pieza²³ (véase Figura VI.3). El área de los elementos tipo barra debe ser igual al área de hormigón entre ellos. Estos elementos, a través de una resistencia adecuada, deben introducir en el modelo una energía equivalente a la energía de fractura generada (G_f) en la fisura de *spalling*.

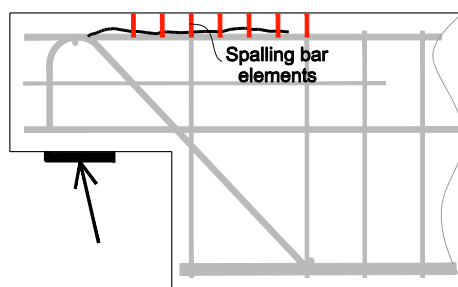


Figura VI.3: Ejemplo de elementos barra de *spalling* para la modelización del recubrimiento

Se recomienda que la separación entre elementos sea similar al espesor del recubrimiento, para representar adecuadamente el fenómeno real (continuo). Los elementos tipo barra de *spalling* serán efectivos exclusivamente en recubrimientos en los que se desvíen los flujos de compresiones. Pese a que podrían disponerse en todos los recubrimientos, se recomienda disponerlos solamente en la zona crítica de *spalling* (véase ejemplo en la Figura VI.3) en caso de que dicho modo de rotura sea detectado.

La energía de fractura (G_f) depende de varios factores y requiere de ensayos experimentales para una determinación precisa. En caso de que se disponga de su valor determinado experimentalmente, se recomienda emplear su estimación, en N/m, a partir del valor de la resistencia a compresión (f_{cm}) en MPa propuesta por el MC-2010 [13]:

$$G_f = 73 \cdot f_{cm}^{0.18} \quad (VI.2)$$

A continuación, se analizan distintas leyes tensión-abertura de fisura en tracción para los elementos tipo *spalling*, tal y como se indica en la Figura VI.4. Se trata de validar el uso de una ley

²³ Si el mallado propuesto divide el recubrimiento en más de un elemento, el elemento ficticio barra de *spalling* debe de conectar directamente el nodo generado en la armadura superior con el nodo generado en el borde de las piezas.

elasto-plástica (Figura VI.4.c), en lugar de leyes de *softening* exponenciales o lineales (Figura VI.4.a y Figura VI.4.b), con la finalidad de mantener la filosofía del modelo basada en el enfoque plástico. Se ha observado que el proceso de *spalling* es fundamentalmente dependiente de la energía de fractura introducida en el sistema y que la forma de la ley de tracción considerada tiene una influencia reducida.

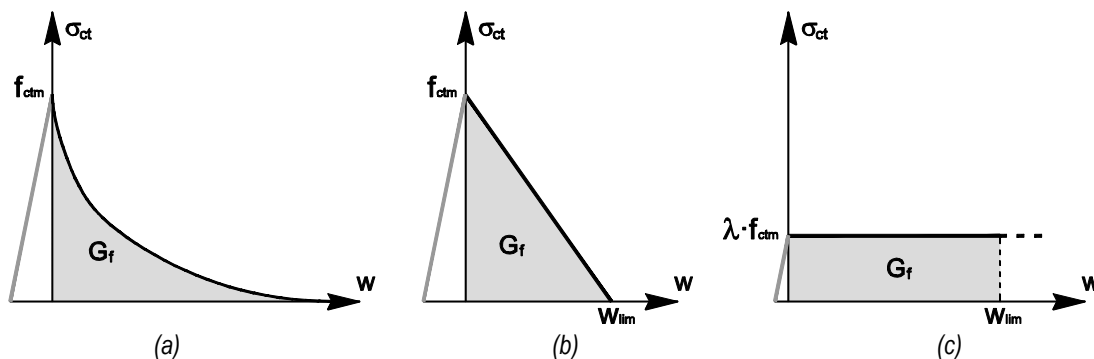


Figura VI.4: Leyes constitutivas analizadas para la resistencia a tracción de los elementos para modelización del *spalling*

El enfoque de *softening* exponencial (Figura VI.4.a) es el más preciso. En esta aproximación la resistencia a tracción en el recubrimiento después de fisurar en términos de deformaciones resulta:

$$\sigma = f_{ctm} \cdot \exp\left(-\frac{\varepsilon - \varepsilon_{cr}}{K}\right) ; K = \frac{G_f}{f_{ctm} \cdot c} \quad (VI.3)$$

donde:

- f_{ctm} es la resistencia media a tracción del hormigón
- ε_{cr} es la deformación de fisuración del hormigón
- c es el espesor del recubrimiento de hormigón

El enfoque elasto-plástico (Figura VI.4.c), es la alternativa más simplificada y resulta consistente con el enfoque plástico de los EPSF. En este caso la resistencia plástica a la tracción en el recubrimiento se define como una fracción (λ) de la resistencia media a la tracción (f_{ctm}). λ se determina de forma que introduzca en el modelo la energía de fractura para una abertura de fisura de *spalling* límite (w_{lim}):

$$\lambda \cdot f_{ctm} = \frac{G_f}{w_{lim}} \quad (VI.4)$$

Debe de seleccionarse un valor adecuado de la abertura de fisura para la cual el proceso de *spalling* se vuelve inestable (w_{lim}). En ausencia de recomendaciones específicas adaptadas al elemento estructural que se esté analizando, se propone emplear la limitación de abertura de fisura definida por la propuesta de ley de *softening* bilineal contenida en el MC-2010 [13]:

$$w_{lim} = \frac{5 \cdot G_f}{f_{ctm}} \quad (VI.5)$$

La aplicación del valor (VI.5) a la ecuación (VI.4) conduce a un valor del factor λ igual a 0.2. Es decir, se debe considerar para modelizar el *spalling* del recubrimiento un valor de resistencia plástica a la tracción del 20% de la resistencia media a tracción (f_{ctm}).

Tal y como se indicó en el apartado IV.4.1, la fisura de spalling se encuentra desarrollada antes de alcanzarse la carga máxima y tiene un valor medio para la carga máxima en el entorno de los 0.5 mm. Este valor es aproximadamente el doble del obtenido según la ecuación (VI.5) propuesta por el MC-2010, obteniéndose en este caso una resistencia plástica en el recubrimiento del 10% de f_{ctm} ($\lambda=0.1$).

Una vía alternativa al enfoque elasto-plástico introduciendo elementos tipo barra consistiría en definir exclusivamente para el recubrimiento un hormigón con una ley constitutiva con una resistencia a tracción residual igual a la resistencia plástica que se acaba de discutir.

En el siguiente apartado se comparan los resultados obtenidos por el enfoque de *softening* exponencial y por el enfoque elasto-plástico con distintas resistencias.

VI.2.1.3 Validación de las distintas modelizaciones propuestas

La validación de la modelización del spalling se ha realizado a partir de un total de 8 modelos correspondientes a 3 configuraciones distintas de la presente campaña experimental (DEB-1.6, DEB-1.7 y DEB-3.4) y 5 ensayos extraídos de la bibliografía (correspondientes a Chan [17] y Khan [38]). En estos casos seleccionados se ha observado que el fenómeno de *spalling* tiene una elevada importancia en el modelo de EPSF. A los efectos de este análisis los resultados experimentales del presente estudio se considerarán en promedio para los dos ensayos de cada una de las tres configuraciones.

Se realizan para estos casos seleccionados 4 análisis mediante EPSF con diferentes modelizaciones del recubrimiento: sin considerar resistencia a tracción, con la aproximación de *softening* exponencial y con el enfoque elasto-plástico con los dos valores de la resistencia plástica discutidos anteriormente ($\lambda=0.1$ and $\lambda=0.2$). En la Figura VI.5 se muestran los resultados de la carga máxima que predicen estos cuatro modelos respecto a la registrada en cada ensayo, así como la abertura de fisura de spalling que el modelo de *softening* exponencial predice para su carga última (w_{lim}).

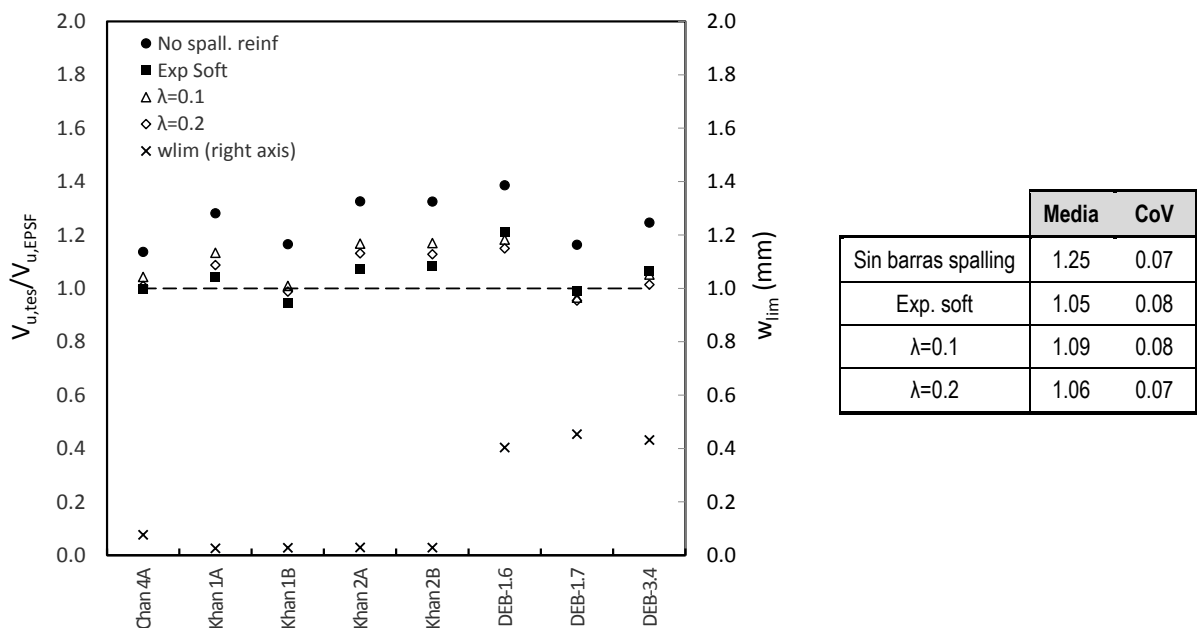


Figura VI.5: Resultados de diferentes modelos de spalling para ensayos seleccionados de AMM

En lo que respecta al análisis de las aberturas de fisura de spalling (w_{lim}) predichas por el modelo (véase Figura VI.5), se observa una clara diferencia entre los resultados obtenidos para los ensayos de Chan [17] y Khan [38] respecto a los del presente estudio. Los primeros se encuentran por debajo de 0.1 mm mientras que los segundos se sitúan sobre 0.4 mm, en el entorno de lo observado experimentalmente. Para los valores de w_{lim} claramente inferiores a los valores supuestos para el cálculo de la resistencia plástica, la energía introducida en el recubrimiento por la ley de *softening* exponencial es inferior a la introducida por las leyes elasto-plásticas; como consecuencia, el enfoque de *softening* exponencial conduce a las mayores resistencias, mientras que el enfoque elasto-plástico resulta más conservador. Sin embargo, cuando se predicen elevados valores de w_{lim} el enfoque elasto-plástico es el que introduce más energía y por tanto da lugar a mayores resistencias que el enfoque de *softening* exponencial.

En resumen, existen ligeras diferencias entre los distintos enfoques para la modelización del recubrimiento propuestos en el apartado VI.2.1.2. En el enfoque elasto-plástico no se observa una excesiva sensibilidad del proceso respecto a la resistencia plástica considerada, siempre que se considere su valor dentro de un orden de magnitud adecuado; se recomienda emplear un 20% de la resistencia media a tracción (f_{ctm}), dado que dicho valor es consistente con las prescripciones de *softening* bilineal del MC-2010 [13] y conduce a resultados similares al modelo con *softening* exponencial.

VI.2.2 Hormigón reforzado con fibras de acero

El cálculo de elementos estructurales de hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) requiere considerar su resistencia a tracción. Dependiendo de su composición, el hormigón reforzado con fibras puede desarrollar un comportamiento a tracción uniaxial tras su fisuración de *softening* o *hardening*, dependiendo de si la deformación se localiza en una única fisura o se distribuye en múltiples fisuras [80]. En el presente apartado se estudia incorporar a los modelos de EPSF una resistencia a tracción plástica para la modelización de HRFA.

Para un adecuado análisis del fenómeno resulta necesario desarrollar la extensión del modelo de EPSF para HRFA a partir de los resultados de ensayos en los que la contribución de las fibras constituya el mecanismo resistente principal y se analice el efecto escala. Para los AMM con HRFA ensayados en el presente estudio el mecanismo resistente principal en rotura son las armaduras; la contribución de las fibras es reducida. En consecuencia, se tomarán para analizar el fenómeno otros ensayos, concretamente una serie de ensayos de vigas con HRFA sin armadura transversal ejecutada en Brescia (Minelli et al. [81]).

VI.2.2.1 Aplicación de EPSF a piezas sin armadura transversal

Una primera consideración que se hace necesario realizar es la aplicabilidad de los EPSF a elementos sin armadura transversal, dado que previamente se ha indicado que es necesaria la existencia de una mínima armadura transversal para garantizar el buen funcionamiento del modelo

(véase apartado VI.1). El fallo a cortante de estos elementos está caracterizado por el denominado valle de Kani (véase Figura VI.6).

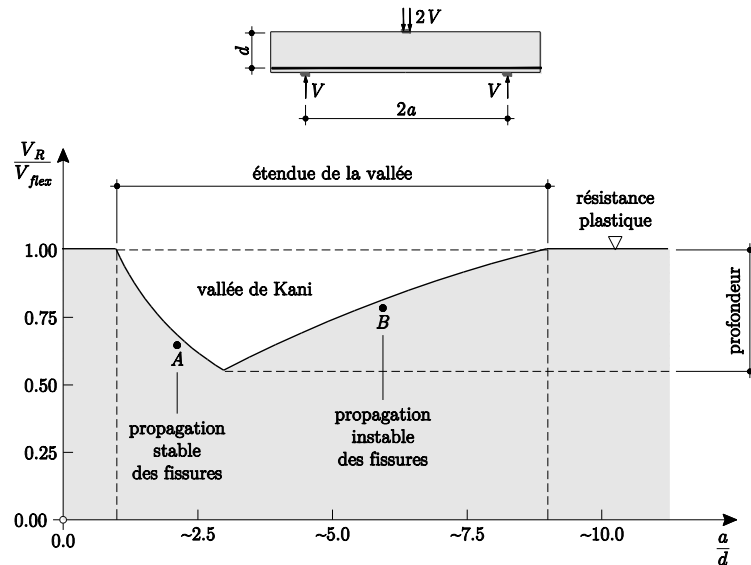


Figura VI.6: Valle de Kani, extraído de Campana [82]

En el flanco derecho del valle de Kani, con ratios de vano de cortante respecto a canto efectivo (a/d) superiores aproximadamente a 3, la propagación de las fisuras es inestable y se concentra en una única fisura crítica. En este caso son fundamentales mecanismos resistentes no considerados por los EPSF como son el engranamiento de áridos o el efecto pasador de la armadura, por lo que la aplicación de EPSF conduce a resultados muy del lado de la seguridad. Para este caso son de aplicación otras teorías como la teoría de la fisura crítica inicialmente planteada por Muttoni y Schwartz [83].

Para casos en el flanco izquierdo del valle de Kani, con una biela de apoyo directo con una inclinación superior a aproximadamente 20° , la propagación de las fisuras es estable. Las fisuras se desarrollan incluso en la biela reduciendo su resistencia. En este caso no se produce una concentración de las deformaciones, por lo que los modelos de EPSF siguen siendo válidos pese a que no se disponga de armadura transversal [82]. En estos elementos se produce una dispersión en los resultados significativamente superior a la que se da en los elementos con armadura transversal.

VI.2.2.2 Descripción de la campaña experimental de referencia

Un total de 9 ensayos de vigas componen la campaña experimental expuesta por Minelli et al. [81]. Hay sólo dos variables estudiadas: el canto de las piezas y el tipo de hormigón. Se ensayan piezas de 500 mm, 1000 mm y 1500 mm de canto (denominaciones H500, H1000 y H1500). Se emplean los siguientes hormigones: convencional (PC), HRFA con 50 kg de fibras/m³ (FRC50) y HRFA con 75 kg de fibras/m³ (FRC75).

Las vigas tienen en todos los casos un canto efectivo (d) 60 mm inferior al canto total previamente indicado. El ancho de las vigas es de 250 mm también constante en todas las piezas. La longitud de las vigas se determina de forma que se tenga un ratio a/d igual a 3 en todos los casos. Se emplea una configuración de ensayo biapoyada con carga centrada.

El ratio a/d de las piezas se encuentra aproximadamente en el límite entre los dos flancos del valle de Kani (el valor exacto que lo define depende de las características de la pieza). Los modelos de campos de tensiones elasto-plásticos (EPSF) están para estas vigas sin armadura transversal en el límite de su aplicación.

Se destaca en el estudio experimental que la serie de ensayos H1000 presenta unas cargas de rotura anormales en comparación con las tendencias de las otras series.

VI.2.2.3 Propuestas para considerar la contribución de las fibras

VI.2.2.3.a Ley elasto-perfectamente plástica en tracción

Primeramente se analiza el funcionamiento del modelo descrito previamente en el apartado VI.1 incorporando a la ley constitutiva del hormigón en tracción una ley elasto-perfectamente plástica definida por el valor f_{ctp} , tal y como se muestra en la Figura VI.7.

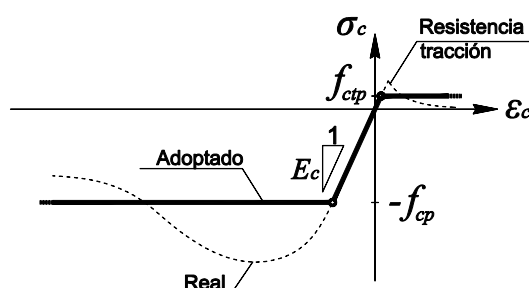


Figura VI.7: Ley constitutiva del hormigón propuesta con comportamiento elasto-perfectamente plástico en tracción

Para analizar el funcionamiento de esta hipótesis constitutiva se modeliza la configuración geométrica H500 y se calcula con distintos valores de f_{ctp} . En la Figura VI.8 se muestran los resultados de la carga última obtenidos en estos análisis, representados en función del cociente entre la resistencia a tracción considerada (f_{ctp}) y la resistencia a flexotracción experimental del hormigón FRC50 asociada a una abertura de fisura de 2.5 mm ($f_{r,3}$). Como referencia se muestran mediante líneas horizontales los resultados experimentales de carga última para la pieza de hormigón convencional -H500 PC (Exp.)- y para la pieza de hormigón 50 kg de fibras/m³ -H500 FRC50 (Exp.)-.

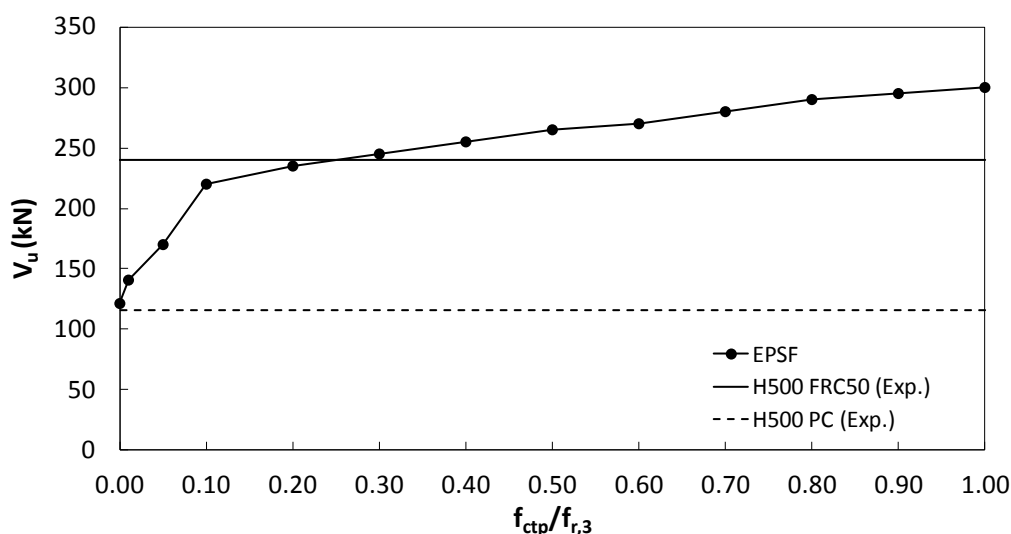


Figura VI.8: Análisis de la influencia de f_{ctp} en los modelos de EPSF. Configuración H500

Del análisis de la Figura VI.8 se deriva que para la pieza H500 la resistencia plástica a tracción adecuada se sitúa en el entorno del 30% de $f_{r,3}$. Dicho valor concuerda con el valor especificado por la ley constitutiva plástica propuesta en el MC-2010 [13], que se sitúa en $f_{r,3}/3$ (véase Figura VI.9).

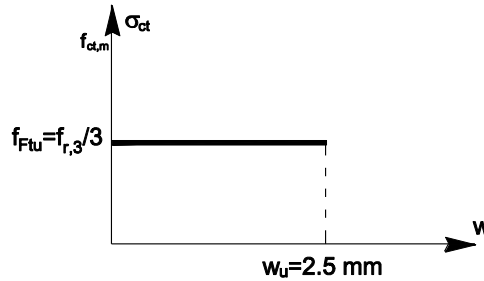


Figura VI.9: Ley plástica constitutiva propuesta por MC-2010 [13]

Los resultados del modelo con la ley constitutiva mostrada en la Figura VI.7 considerando un valor de $f_{r,3}/3$ para f_{ctp} para todos los ensayos del estudio de referencia se muestran en la Figura VI.10²⁴.

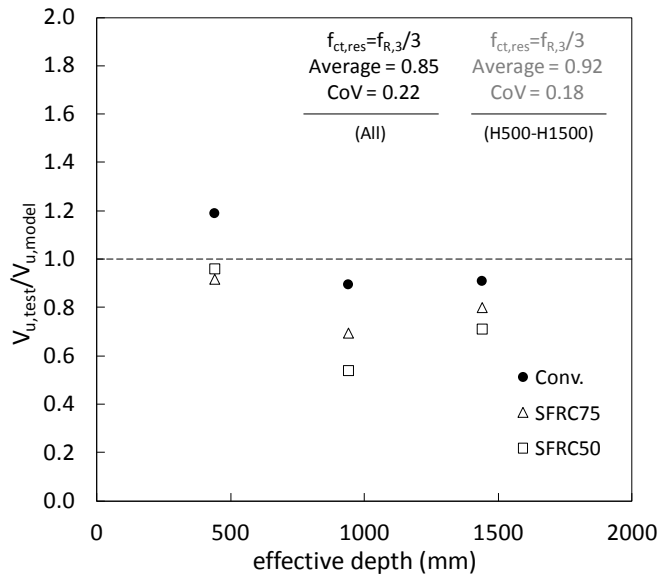


Figura VI.10: Resultados de EPSF con tracción residual sin deformación máxima

Del análisis de la Figura VI.10 se concluye que la hipótesis constitutiva considerada da lugar a resultados claramente inseguros para las series de piezas de mayor canto. Para obtener resultados adecuados de manera consistente para cualquier canto de las piezas es necesario emplear un modelo constitutivo que elimine la resistencia a tracción plástica (f_{ctp}) a partir de un determinado límite de deformaciones en tracción (ϵ_{max}).

VI.2.2.3.b Ley elasto-plástica en tracción

En este apartado se estudia implementar en el modelo de EPSF una hipótesis constitutiva similar a la analizada en el apartado anterior, incluyendo además un umbral máximo para las

²⁴ Dado que las piezas H1000 presentan un extraño comportamiento destacado en la campaña experimental, en los resultados del promedio (average) y el coeficiente de variación (CoV) se muestran los valores del promedio de todos los ensayos en negro, y de las series H500-H1500 (excluyendo la serie H1000) en gris.

deformaciones de tracción (ϵ_{max}) a partir del cual no se considera la resistencia a tracción del hormigón, tal y como se muestra en la Figura VI.11.

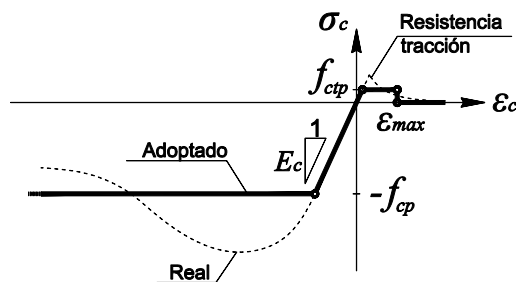


Figura VI.11: Ley constitutiva del hormigón propuesta con comportamiento elasto-plástico en tracción

Se considera la ley plástica constitutiva mostrada en la Figura VI.9 y propuesta en el MC-2010 [13]. El valor de $f_{r,3}/3$ especificado en dicha ley constitutiva para la resistencia a tracción plástica es consistente con las observaciones realizadas en el apartado anterior para piezas de cantos reducidos.

La implementación la ley plástica constitutiva de la Figura VI.9 en el modelo de EPSF requiere transformar la abertura de fisura máxima definida ($w_u=2.5$ mm) en una deformación máxima (ϵ_{max}). La transformación entre aberturas de fisura y deformaciones se realiza a través del término denominado longitud característica estructural (l_{cs}):

$$\epsilon = \frac{w}{l_{cs}} \quad (VI.6)$$

El valor de l_{cs} representa la separación media entre fisuras. La obtención de este valor a partir de los resultados experimentales entraña cierta dificultad ya que, puesto que la fisuración es dependiente del nivel de carga, las distintas separaciones también son dependientes del nivel de carga. En consecuencia, el valor de l_{cs} se determina a partir de las propuestas existentes en la bibliografía.

Según Cuenca Asensio [80] no existe un consenso acerca de este valor en vigas de HRFA sin armadura, oscilando las propuestas desde $h/2$ (Rilem [84]) hasta $2 \cdot h$ (Strack [85]). El MC-2010 [13] especifica un valor intermedio igual al canto de las piezas (h). Para analizar la sensibilidad del modelo de EPSF frente al valor de l_{cs} se analizan los distintos ensayos del estudio de referencia considerando los siguientes valores de l_{cs} : $h/2$, h , $2 \cdot h$. En la Figura VI.12.a-c se muestran los resultados de dichos análisis (los modelos para las piezas con hormigón convencional son idénticos en estos tres casos). Como referencia de la bondad del modelo en la Figura VI.12.d se muestran los resultados derivados de la fórmula empírica para piezas sin armadura transversal propuesta por el MC-2010 [13].

En la Figura VI.12.a-c se observa que las piezas de mayor canto son más sensibles a la variación de l_{cs} . Esta observación es congruente con el fenómeno físico, según el cual conforme aumenta el canto de las piezas se reduce la contribución relativa de las fibras. El valor de $h/2$ para l_{cs} (Figura VI.12.a) conduce a unos resultados inseguros, bastante similares a los del análisis de EPSF con resistencia a tracción plástica sin limitar (Figura VI.10). El valor superior de l_{cs} (Figura VI.12.c) da lugar a unos resultados tanto mayor del lado de la seguridad como mayor es el canto de las piezas. Se concluye que el valor idóneo para l_{cs} es el propuesto por el MC-2010 [13], es decir, h . La adecuación de este valor debería de contrastarse en base a más modelizaciones.

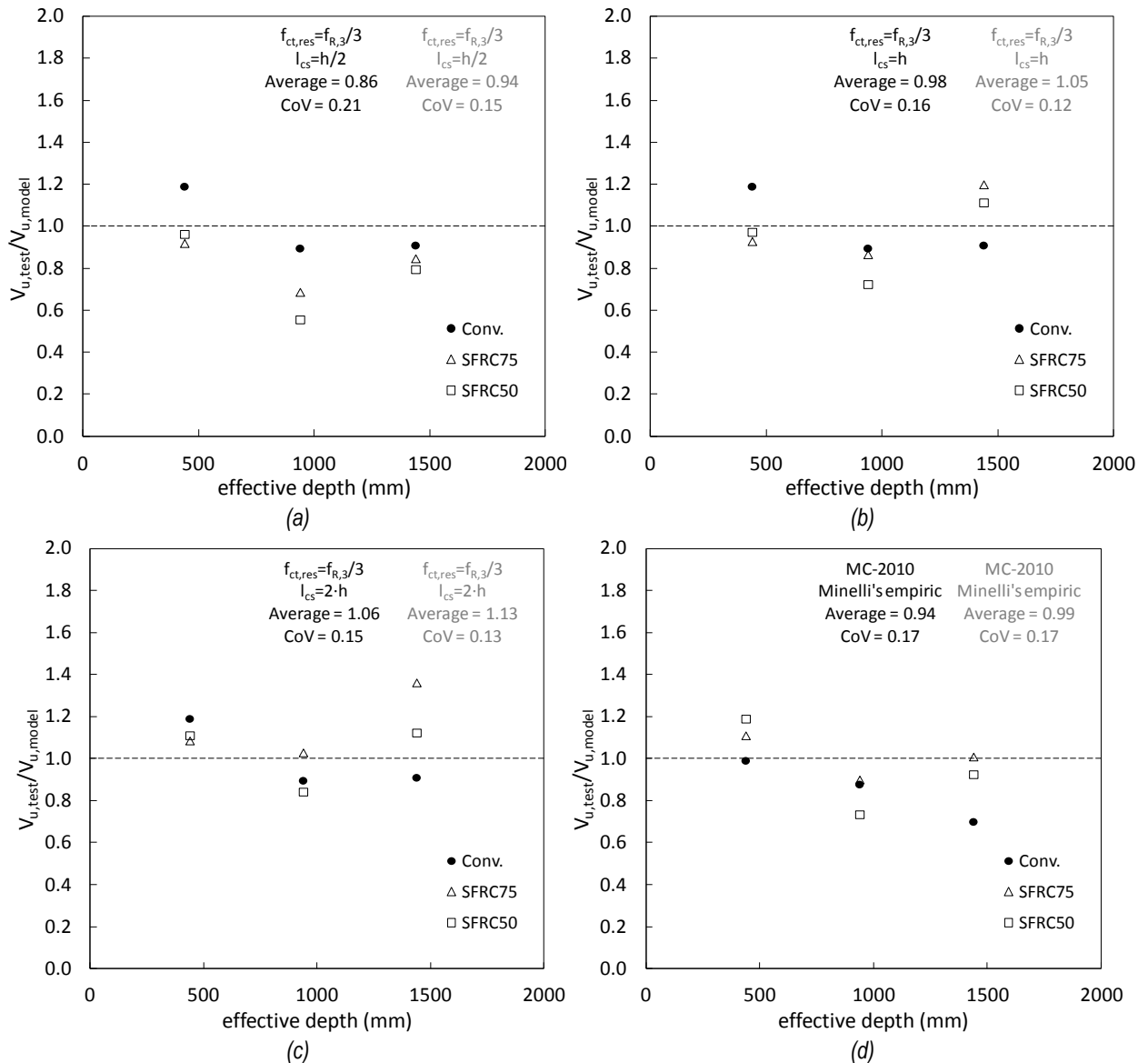


Figura VI.12: (a)-(c) Resultados de EPSF con distintos valores de l_{cs} ; (d) Resultados de formulación empírica propuesta en el MC-2010 [13], extraídos de Minelli et al. [81]

El modelo de EPSF implementando la ley plástica especificada por el MC-2010 [13] da unos resultados ajustados en promedio y con un coeficiente de variación en el entorno del 15%. Estos resultados pueden considerarse aceptables dado que se está analizando un fenómeno (roturas de cortante en piezas sin armadura transversal) que presenta una elevada dispersión. Los resultados obtenidos son similares, incluso con una dispersión ligeramente más reducida que los proporcionados por la formulación empírica propuesta en el MC-2010 [13] (véase Figura VI.12.d).

VI.3 Aplicación a apoyos a media madera

En este apartado se aborda la verificación de la aplicación al análisis en servicio y en rotura de los AMM de los modelos de campos de tensiones elasto-plásticos (EPSF) incorporando los desarrollos realizados en el apartado anterior para fenómenos de spalling y piezas con HRFA.

VI.3.1 Campaña experimental realizada

En este apartado se muestran los resultados de las modelizaciones EPSF sobre los ensayos de la campaña experimental expuesta en el presente estudio. Respecto a la consideración del HRFA, para la determinación de l_{cs} se ha tomado un valor del canto igual al promedio entre el canto en la sección del apoyo (h) y el canto total de la viga (H).

VI.3.1.1 Comparación de resultados de carga última

En la Figura VI.13 y la Tabla VI.1 se sintetizan los resultados de modelos de EPSF. Se aprecia por una parte que la dispersión del ajuste es superior en las piezas con armadura ortogonal, ya que en ellas tiene una mayor influencia el fenómeno de *spalling*. Por otra parte, los resultados del modelo en las piezas con armadura secundaria son claramente inseguros. Este resultado se explica por el hecho de que, a diferencia de lo que sucede en los resultados experimentales, en el modelo numérico la inclusión de la armadura secundaria conduce a un aumento significativo de las carga de rotura (en el entorno del 15%). Esta observación, junto con el correcto ajuste que se observa de los EPSF para otras series de piezas con armaduras secundarias (véase apartado VI.3.2), confirma el comportamiento experimental extraño de las piezas con armadura secundaria, en las que su inclusión no se traduce en aumento alguno de la carga resistida. Se observa un ajuste excelente de las piezas ejecutadas con HRFA. Este resultado valida para los AMM el empleo de los modelos de EPSF para el análisis de piezas ejecutadas con HRFA.

Tabla VI.1: Síntesis de resultados de EPSF agrupados por tipologías de piezas

	Ortogonal	Diagonal	HRFA	Pretensadas	Arm. secund.	TODAS
Promedio	0.97	1.01	1.01	1.00	0.86	0.98
CoV	0.09	0.04	0.03	0.04	0.06	0.08

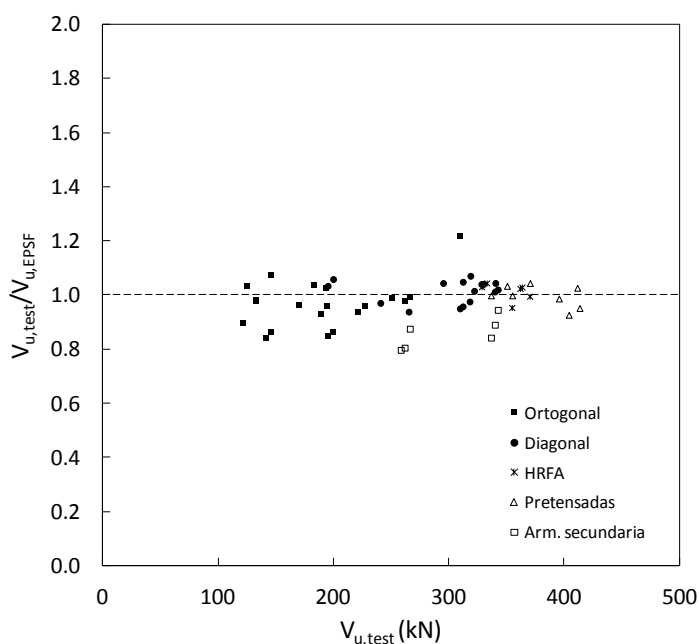


Figura VI.13: Resultados de EPSF para los AMM de la campaña experimental desarrollada

Se observa que los resultados globales del modelo de EPSF incorporando las extensiones propuestas para incorporar tanto el fenómeno de spalling como el efecto de las fibras metálicas (véase apartado VI.2) son muy adecuados, con un promedio del ratio de carga experimental entre carga predicha ($V_{u, \text{test}}/V_{u, \text{EPSF}}$) de 0.98 y un coeficiente de variación de 0.08.

VI.3.1.2 Análisis de mecanismos resistentes

En la Figura VI.14 se muestra el reparto de la carga total (V) entre el mecanismo resistente ortogonal (V_{ort}) y el mecanismo resistente diagonal (V_{diag}) obtenido mediante el modelo de EPSF para la configuración DEB-2.3. Como referencia se muestran en la figura los resultados del reparto en servicio obtenido a partir de los resultados experimentales (fiables exclusivamente en el entorno de cargas representado) y el reparto teórico en rotura extraídos de la Tabla IV.6.

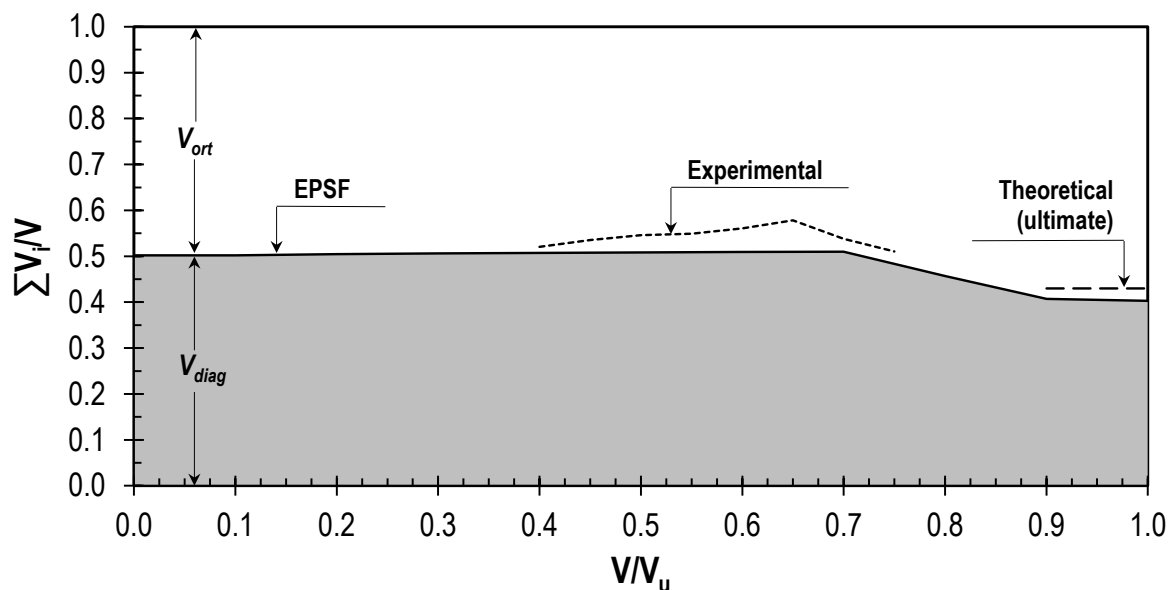


Figura VI.14: Reparto de carga entre mecanismos resistentes de EPSF en función del nivel de carga: configuración DEB-2.3

Dado que los modelos de EPSF verifican las condiciones de compatibilidad, se observa que la distribución de los mecanismos resistentes es adecuada tanto en rotura como en servicio. El esquema resistente diagonal está dispuesto según la dirección principal de tracciones en el modelo elástico lineal y, por tanto, recoge en servicio una carga comparativamente superior al reparto teórico en rotura. Este aspecto es captado por los EPSF, en los que se observa un reparto entre mecanismos constante hasta que se produce la plastificación de la armadura diagonal. A partir de entonces se produce una redistribución plástica hasta que el esquema ortogonal también alcanza su plastificación, siendo entonces el reparto similar al deducido teóricamente en función de la capacidad resistente de ambos mecanismos.

El hecho de que el reparto entre mecanismos resistentes sea adecuado en servicio posibilita obtener unos resultados también adecuados de las aberturas de fisura en las piezas con armadura diagonal calculados a partir de las deformaciones del modelo de EPSF, tal y como se muestra posteriormente en el apartado VII.2.8.1.

Los gráficos resultantes del análisis, tal y como se muestran a modo de ejemplo para la configuración DEB-2.5 en la Figura VI.15, muestran los campos de tensiones de las piezas permitiendo comprender fácilmente su comportamiento estructural.

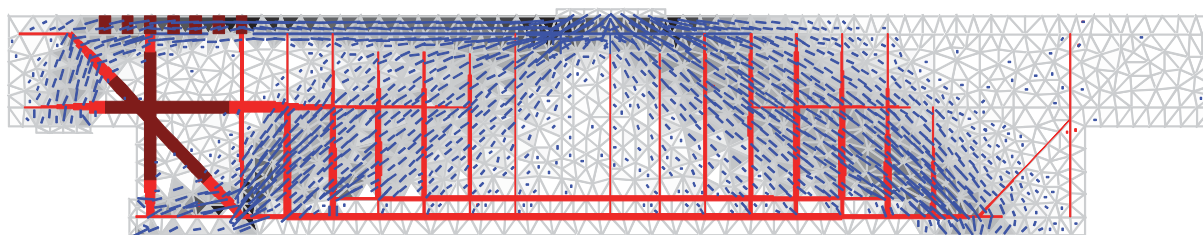


Figura VI.15: Modelo de EPSF para la configuración DEB-2.5: tensiones relativas a la carga máxima (negro denota que se plastificación del hormigón, rojo oscuro denota plastificación de las armaduras).

VI.3.1.3 Comparación de deformaciones

En la Figura VI.16 se muestran los resultados obtenidos mediante los campos de tensiones elasto-plásticas (EPSF) de las deformaciones de las armaduras principales, comparados con los resultados experimentales para dos ensayos de la configuración con armadura diagonal DEB-2.2. Se observa que el modelo de EPSF ajusta de manera muy precisa las deformaciones de las armaduras. Para cargas bajas, y dado que el modelo de EPSF no considera la contribución del hormigón en tracción, el modelo predice deformaciones ligeramente superiores a las experimentales.

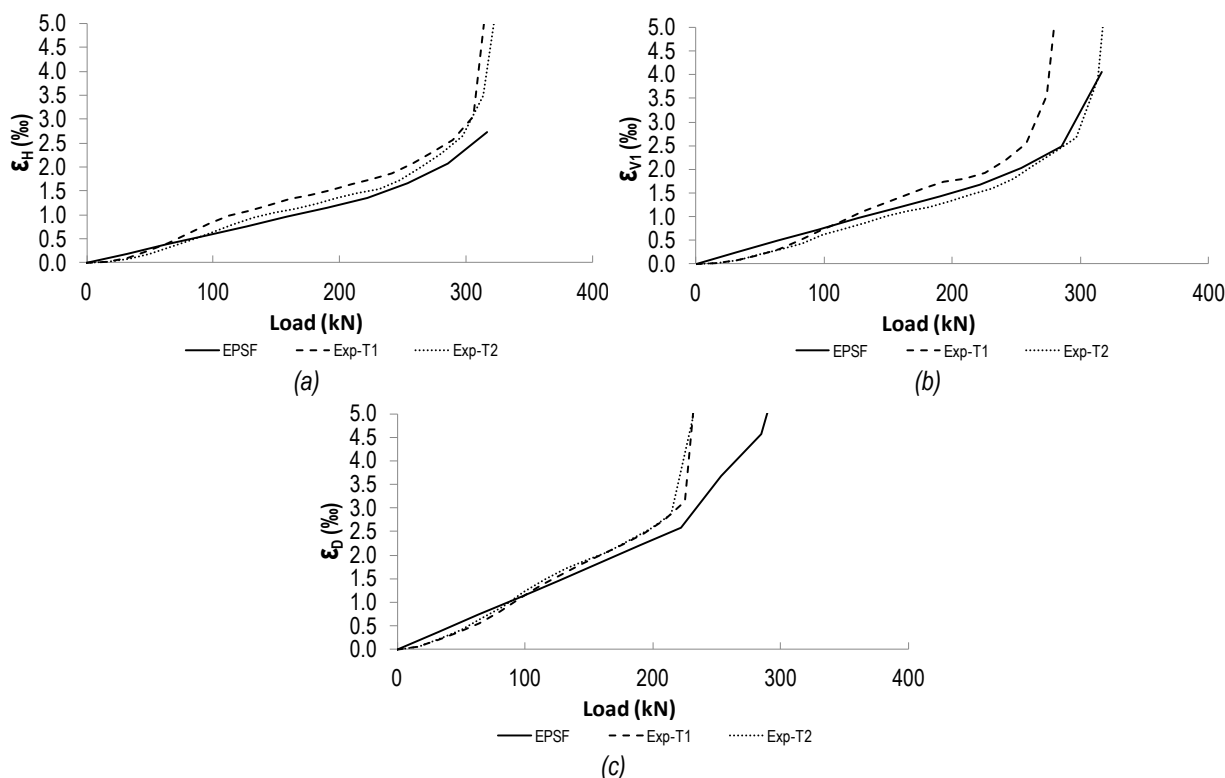


Figura VI.16: Comparativa de resultados de deformaciones en armaduras principales de EPSF respecto a las experimentales para la configuración DEB-2.2: (a) Armadura horizontal A_{sh} ; (b) Armadura vertical A_{sv} ; (c) Armadura diagonal A_{sd}

VI.3.2 Ensayos de otros autores

En el apartado anterior se ha verificado que los modelos de EPSF son una estrategia muy precisa para el análisis tanto en servicio como en rotura de AMM a partir de los resultados de la

campana experimental expuesta en el presente estudio. Se verifica además a continuación la bondad del modelo para los resultados en rotura de otros autores. En la Figura VI.17 se muestra una síntesis gráfica de las características de los ensayos analizados mediante EPSF. En dicha figura ρ simboliza la cuantía de armadura longitudinal en la sección completa de la viga, ρ_w la cuantía promedio de armadura transversal en toda la viga y P/A el ratio entre la fuerza de tesado y la sección completa. Los distintos esquemas de la Figura VI.17 se muestran con una escala relativa a su tamaño original.

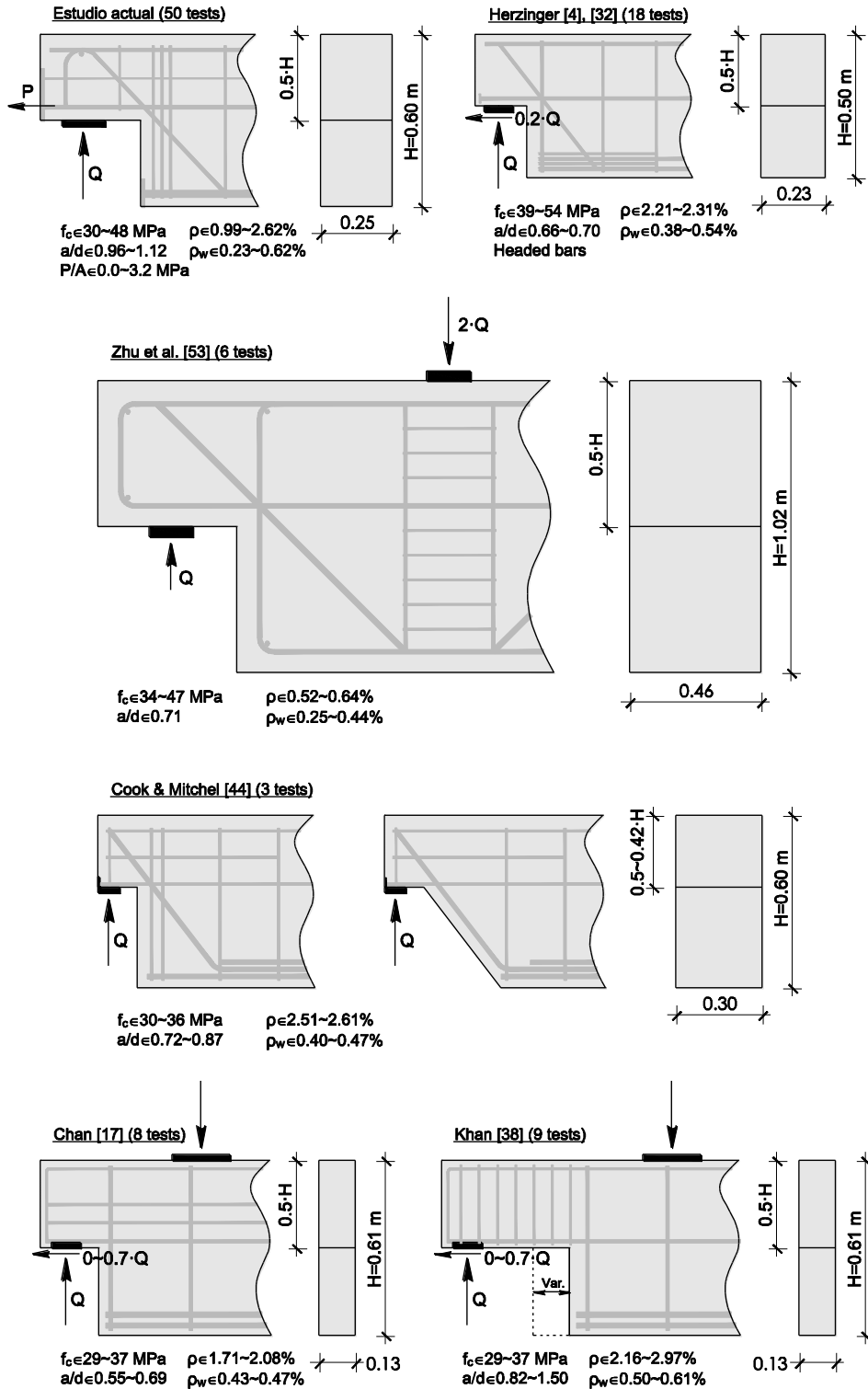


Figura VI.17: Síntesis gráfica de características de los ensayos de AMM empleados para la validación de los EPSF

Los ensayos analizados recogen un amplio rango de configuraciones geométricas, de armado, propiedades materiales y disposiciones de carga.

Tal y como se indicó anteriormente, tanto los modelos como los resultados en rotura de todos estos ensayos se han incorporado a la base de datos del instituto de investigación IBETON, y son por tanto de libre acceso a través del siguiente enlace:

<http://i-concrete.epfl.ch/EPSF/EPSF.html>

Los resultados de los distintos ensayos realizados se representan en la Figura VI.18 junto con los de la presente campaña experimental. En este análisis no se han incluido los resultados correspondientes a la serie DEB-4.# del presente estudio (con armadura secundaria) dado que, tal y como se discutió en el apartado VI.3.1.1, dichos resultados experimentales se consideran extraños y su inclusión podría distorsionar la comparación con los resultados de otros autores.

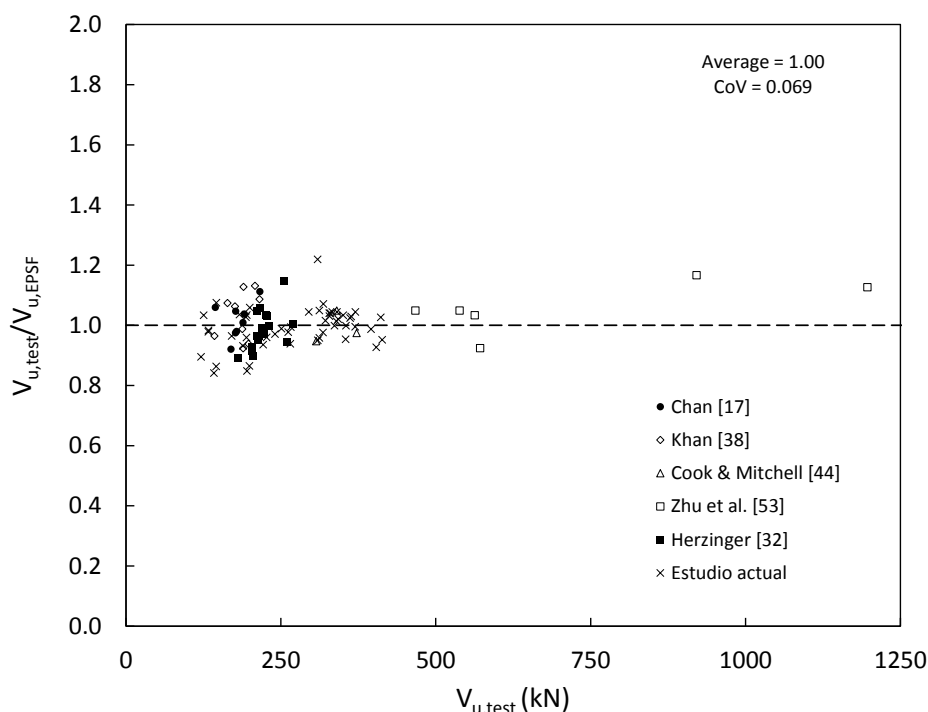


Figura VI.18: Síntesis de resultados de EPSF para carga última

El análisis de los 94 ensayos (50 de la presente campaña experimental y 44 de otros autores) sintetizados en la Figura VI.18 permite establecer que el modelo presenta unos resultados muy ajustados, con un promedio del ratio de carga experimental entre carga predicha ($V_{u,test}/V_{u,EPSF}$) de 1.00 y un coeficiente de variación del 7%. No se aprecia que la carga última del AMM tenga influencia en la bondad del modelo.

Tabla VI.2: Síntesis de resultados de EPSF para carga última

	Chan [17]	Khan [38]	Cook & Mitchell [44]	Zhu et al. [53]	Herzinger [4], [32]	Estudio actual	TODAS
Nº ensayos	8	9	3	6	18	50	94
Promedio	1.02	1.03	0.99	1.06	0.99	0.99	1.00
CoV	0.06	0.08	0.05	0.08	0.06	0.07	0.07

Tal y como se observa en la Tabla VI.2, el modelo presenta unos resultados muy adecuados y similares para todas las campañas experimentales analizadas, lo cual denota una elevada robustez para ser aplicado a distintas configuraciones de AMM. Se concluye que los modelos de campos de tensiones elasto-plásticos, incorporando las hipótesis desarrolladas en el presente estudio, son una estrategia de cálculo en servicio y en rotura muy adecuada tanto para el diseño como para la verificación de apoyos a media madera.

Capítulo VII

Métodos para la determinación de la abertura de fisura

El presente capítulo tiene por objeto detallar distintos métodos de cálculo para calcular la abertura de fisura en apoyos a media madera (AMM) y dotar de un contraste experimental lo más amplio posible de estos y otros métodos pre-existentes. Se justifica en primer lugar la necesidad de contar con métodos de verificación del ELS de fisuración específicamente desarrollados para estos elementos. A continuación se describen dos metodologías novedosas para calcular la abertura de fisura: un modelo racional, en el cual ésta se calcula mediante la integración de las deformaciones de las armaduras en el entorno de la fisura, y un modelo empírico en el que intervienen las principales variables implicadas en el proceso. Una vez determinados los parámetros que definen los modelos propuestos y analizado su funcionamiento para los datos experimentales propios, se contrastan los modelos propuestos con otros datos experimentales disponibles en la bibliografía y compararlos entre sí, así como con dos modelos de otros autores disponibles en la bibliografía. Por último, tomando como base los resultados del modelo empírico, se establece una propuesta para sobredimensionar la armadura calculada en estado límite último con tal de asegurar que se satisfaga una determinada restricción de la abertura de fisura.

El desarrollo del método racional en la hipótesis cinemática sin considerar el deslizamiento de fisura, ni la contribución en tracción del hormigón o la fisuración cercana, así como su aplicación a partir de los resultados de deformaciones del método de los campos de tensiones elasto-plásticos (EPSF) se ha realizado en colaboración con los profesores Miguel Fernández Ruiz y Aurelio Muttoni fruto de las estancias realizadas por el autor en el Structural Concrete Laboratory (IBETON) de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne dirigido por el profesor Muttoni.

VII.1 Introducción

El diseño en rotura de AMM conlleva generalmente unas aberturas de fisura en servicio excesivas e incompatibles con los requisitos mínimos de durabilidad, tal y como se ha verificado experimentalmente en el presente trabajo. Las dos únicas metodologías encontradas en la bibliografía

para el cálculo de la abertura de fisura en AMM (Clark y Thorogood [46] y Zhu et al. [53]) no están suficientemente contrastadas ni son aplicables a la totalidad de disposiciones constructivas usuales en estos elementos (véase apartado II.3). Como consecuencia, el empleo de estas metodologías no está extendido, pudiéndose inferir que muchos AMM existentes podrían presentar problemas de durabilidad. Dado que se trata de un problema conocido, en algunos casos los proyectistas habrán venido aplicando reglas de sobredimensionamiento sin ningún fundamento teórico.

Las fórmulas clásicas para la determinación de aberturas de fisura están desarrolladas para zonas de estructuras en tracción en las que la fisuración es perpendicular tanto a la armadura longitudinal como al borde de las piezas. En los AMM son dos familias de armaduras, la vertical y la horizontal, junto con la diagonal en ocasiones, las que restringen una fisura diagonal generada en la esquina de las piezas. Consecuentemente, la aplicación de las fórmulas clásicas al caso de los AMM no es posible.

Algunas normativas plantean verificar el ELS de fisuración mediante la disposición de una armadura mínima, como alternativa de la determinación de la abertura de fisura, o en sustitución de ésta (EC-2 [12], MC-2010 [13], CSA-A23.3-04 [31], ACI 318-08 [30], SIA-262 [14]). La armadura mínima dispuesta depende de variables geométricas como el diámetro de la armadura y la separación entre armaduras y acaba materializándose en una limitación de las tensiones en servicio de las armaduras. Este procedimiento, de la misma forma a como sucede con las fórmulas clásicas, se plantea para zonas de estructuras en tracción con fisuración perpendicular tanto a la armadura longitudinal como al borde de las piezas, no siendo por tanto válidos para los AMM. Su aplicación para AMM, partiendo de estimaciones en servicio de las tensiones de las armaduras (procedentes de modelos numéricos o de la extrapolación de modelos de bielas y tirantes en rotura), resultaría insegura tal y como se explica a continuación.

Dado que en la esquina de los AMM siempre hay una elevada concentración de armaduras, la separación entre armaduras en estos elementos es muy reducida. Para este caso de separaciones entre barras reducidas (60 mm) las normativas especifican límites en la tensión de servicio de las armaduras de entre 360 (EC-2 [12] y MC-2010 [13]) y 430 MPa (SIA-262 [14]). La aplicación de estos niveles de tensiones a los resultados experimentales promedios obtenidos en la presente campaña experimental (véase Tabla VII.1), conllevaría unas aberturas del orden de 0.4-0.5 mm o 0.6-0.8 mm según se dispusiera o no de armadura diagonal. Se deriva por tanto que las aberturas de fisura obtenidas son claramente superiores a las máximas habitualmente exigidas por requisitos de durabilidad.

Tabla VII.1: Resultados orientativos de tensiones de armaduras para la presente campaña experimental

	Abertura de fisura (mm)			
	0.20	0.40	0.60	0.80
Tensión armadura vertical y horizontal (MPa)	130	235	340	415
Tensión armadura diagonal (MPa)	210	365	495	Plast.

Todo lo anterior pone en énfasis la importancia de ir estableciendo, contrastando y difundiendo métodos específicos para el cálculo de la abertura de la fisura en AMM. Los métodos expuestos en este

capítulo abordan el cálculo de la abertura de fisura frente a cargas instantáneas. La aplicación de estos métodos en fase de diseño para verificar un determinado valor máximo normativo será válida en caso de que los valores normativos se hayan especificado para un cálculo de la abertura de fisura sin considerar los efectos diferidos. En caso contrario será necesario incorporar a las formulaciones desarrolladas los efectos diferidos.

VII.2 Modelo racional

El modelo racional considera que la abertura de fisura a la altura de su cruce con las armaduras se calcula mediante la integración de las deformaciones de las armaduras en el entorno de la fisura; la distribución de deformaciones queda definida mediante las deformaciones de las armaduras a la altura de la fisura y las tensiones de adherencia entre el acero y el hormigón. Este planteamiento se realiza para cada una de las armaduras situadas cerca del arranque de la fisura, componiéndose los distintos resultados en la abertura de fisura final mediante una determinada hipótesis cinemática.

En este apartado se propondrá una hipótesis cinemática que considera el deslizamiento de la fisura, la cual requiere de una hipótesis adicional para establecer la inclinación de la fisura. Como hipótesis alternativa a esta hipótesis de la inclinación de la fisura se propondrá considerar nulo el deslizamiento de la fisura; la inclinación de la fisura quedará determinada en este caso por la hipótesis cinemática.

Además de la formulación básica del modelo racional se desarrollarán una serie de extensiones de la metodología con el objetivo de incluir en el modelo los siguientes aspectos: interacción con fisuras cercanas, biselado del vértice y contribución del hormigón en tracción. En el apartado VII.2.3 se desarrolla la metodología para incluir la influencia por la aparición de fisuras cercanas a través de la longitud de separación entre fisuras. Se proponen además coeficientes reductores globales con los que considerar el biselado del vértice (coeficiente k_b descrito en el apartado VII.2.6) y que, para cargas cercanas a la de fisuración (V_{cr}), parte de la carga actuante pueda ser resistida por un mecanismo resistente de tracciones en la fisura (coeficiente k_c descrito en el apartado VII.2.7).

El modelo racional requiere conocer las deformaciones de las armaduras como dato del procedimiento. Para estimar dichas deformaciones es válido cualquier procedimiento que dé lugar a una estimación adecuada de las mismas. Si se emplea un procedimiento que tenga en cuenta la resistencia a tracción del hormigón no deberá considerarse el coeficiente k_c .

Una forma de verificar el modelo racional sería emplear las deformaciones experimentales obtenidas en los ensayos realizados en el presente trabajo. Pese a que las bandas extensométricas se dispusieron en las inmediaciones de la fisura teórica, la aleatoriedad en la formación de la fisura hace que en ocasiones las bandas se sitúen a cierta distancia de ésta, en una posición en la que la contribución del hormigón puede ser apreciable. En consecuencia, en estos casos las deformaciones registradas están infraestimadas y las aberturas de fisura estimadas por el modelo quedan también infraestimadas.

Las deformaciones que se introducirán como datos en el modelo racional planteado son las deformaciones provenientes del modelo numérico de campos de tensiones elasto-plásticos (EPSF) descrito en el Capítulo VI o bien unas deformaciones obtenidas a partir del modelo simplificado de bielas y tirantes desarrollado en el apartado V.2.

Se describe a continuación el modelo. Posteriormente se determinarán los parámetros que lo definen a partir de su aplicación para datos de la presente campaña experimental, comparando además las dos hipótesis cinemáticas propuestas y el efecto de cada una de las extensiones desarrolladas.

VII.2.1 Formulación general del modelo

VII.2.1.1 Hipótesis cinemática con deslizamiento en la fisura

Se propone una hipótesis cinemática de la fisura (véase Figura VII.1) compuesta por abertura (w) y deslizamiento (δ). Para una armadura "i" que cruce la fisura, el desplazamiento relativo entre los bordes de la fisura se descompone en dos componentes: una en dirección de la armadura ($w_{b,i}$) y otra perpendicular a la misma ($\delta_{b,i}$).

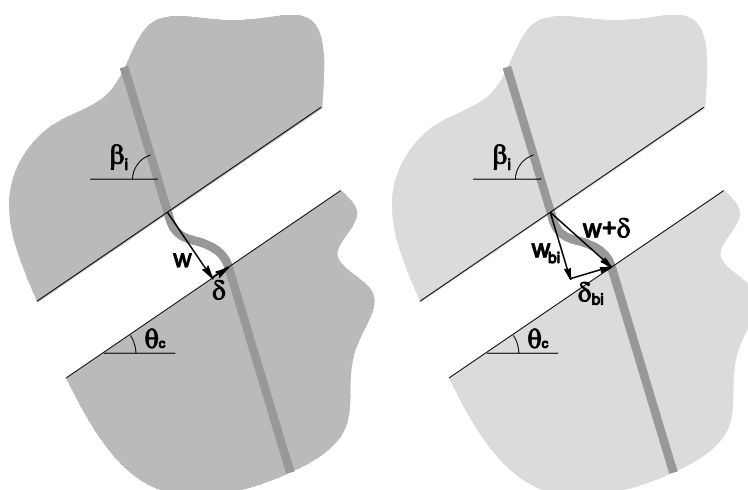


Figura VII.1: Cinemática de fisura propuesta

Bajo esta hipótesis cinemática se puede establecer la siguiente ecuación que relaciona la abertura de fisura con los desplazamientos de la fisura en dirección de la armadura, para dos familias de armaduras distintas (i, j):

$$w = \frac{\begin{vmatrix} w_{b,i} & \cos(\theta_c + \beta_i) \\ w_{b,j} & \cos(\theta_c + \beta_j) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sin(\theta_c + \beta_i) & \cos(\theta_c + \beta_i) \\ \sin(\theta_c + \beta_j) & \cos(\theta_c + \beta_j) \end{vmatrix}} \quad (\text{VII.1})$$

Esta ecuación aplicada a la familia de armaduras ortogonales resulta en la siguiente formulación general del modelo:

$$w = w_{b,H} \cdot \sin(\theta_c) + w_{b,V} \cdot \cos(\theta_c) \quad (\text{VII.2})$$

La relación anterior requiere de una hipótesis para determinar la inclinación θ_c de la fisura. En el apartado VII.2.5 se propone una hipótesis que se ajusta de manera apropiada a los resultados experimentales.

En caso de existir una familia adicional de armaduras (k), su componente de desplazamiento de la fisura en dirección de la armadura ($w_{b,k}$) está relacionado con las componentes de las otras dos armaduras mediante la siguiente expresión:

$$\begin{vmatrix} w_{b,i} & \sin(\theta_c + \beta_i) & \cos(\theta_c + \beta_i) \\ w_{b,j} & \sin(\theta_c + \beta_j) & \cos(\theta_c + \beta_j) \\ w_{b,k} & \sin(\theta_c + \beta_k) & \cos(\theta_c + \beta_k) \end{vmatrix} = 0 \quad (\text{VII.3})$$

Considerando que la tercera familia de armaduras se corresponde con la armadura diagonal la ecuación (VII.3) resulta en la siguiente ecuación de compatibilidad que también debe satisfacerse:

$$w_{b,D} = w_{b,H} \cdot \cos(\beta_D) + w_{b,V} \cdot \sin(\beta_D) \quad (\text{VII.4})$$

VII.2.1.2 Hipótesis cinemática sin deslizamiento en la fisura

La aplicación de la ecuación general del modelo (VII.2) requiere una hipótesis para el cálculo de la inclinación θ_c de la fisura tal y como se ha indicado en el apartado anterior. Como alternativa puede suponerse nulo el deslizamiento en la fisura ($\delta=0$), en cuyo caso la inclinación de la fisura queda determinada por esta hipótesis. Se desarrolla a continuación esta hipótesis cinemática alternativa que conduce a una expresión distinta de la formulación general (VII.2).

La hipótesis cinemática considerando nulo el deslizamiento de la fisura ($\delta=0$) se muestra en la Figura VII.2 y ha sido extraída del trabajo de Fernández Ruiz y Muttoni [88].

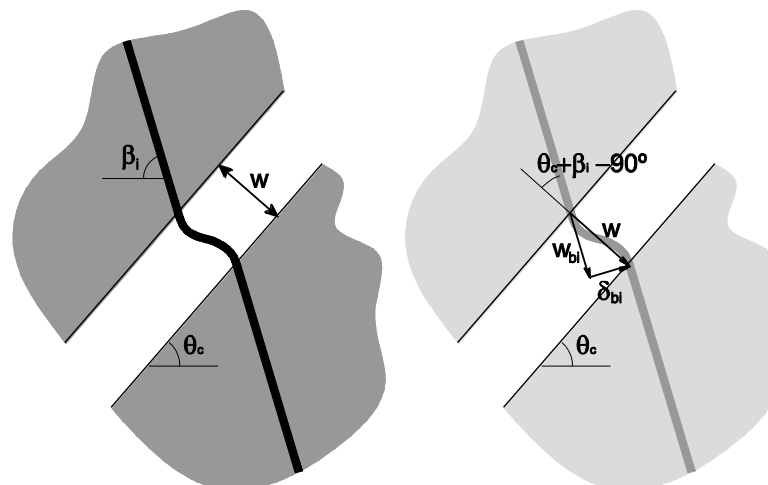


Figura VII.2: Cinemática de fisura propuesta ($\delta=0$)

Al considerar nulo el deslizamiento de fisura, las componentes $w_{b,H}$ y $w_{b,V}$ quedan relacionadas a través de la inclinación θ_c de la fisura. Conocidas $w_{b,H}$ y $w_{b,V}$ es posible expresar la abertura de fisura independientemente de su inclinación, obteniéndose la siguiente formulación general del modelo alternativa a la desarrollada para la primera hipótesis cinemática en la expresión (VII.2):

$$w = \sqrt{w_{b,V}^2 + w_{b,H}^2} \quad (\text{VII.5})$$

La inclinación de la abertura de fisura viene dada en este caso por la siguiente relación:

$$\theta_c = \text{atan} \left(\frac{w_{b,H}}{w_{b,V}} \right) \quad (\text{VII.6})$$

Esta hipótesis cinemática da lugar nuevamente a la ecuación de compatibilidad (VII.4), dado que ésta resulta independiente del ángulo de inclinación de la fisura que se considere.

VII.2.2 Desplazamientos de la fisura en dirección de las armaduras (w_b)

En este apartado se propone una relación entre las deformaciones de las armaduras en las inmediaciones de la fisura y los desplazamientos de la fisura en dirección de las armaduras ($w_{b,i}$), necesarias para el cálculo de la abertura de fisura según la formulación general del modelo (VII.2).

La metodología propuesta se basa en la contenida en el trabajo de Campana et al. [86]. En dicho trabajo se supone, hasta la plastificación de las armaduras, una ley rígido-plástica de adherencia que genera una reducción lineal de las tensiones de las armaduras, considerándose además que toda la tracción en la fisura está soportada por las armaduras. La metodología contempla una formulación para determinar la influencia de hipotéticas fisuras adyacentes.

Por lo que respecta a la aparición de fisuras adyacentes, en el caso particular de los AMM es posible que ésta se produzca en el tramo de la armadura que discurre junto a los bordes de las piezas; se denomina este caso como “caso c”, del inglés *cracking*. Cuando el tramo de la armadura discurre en el interior de la pieza puede desarrollarse un sistema de tensiones en el hormigón que ancla la tensión de la armadura sin generar fisuras adyacentes; se denomina este caso como “caso b”, del inglés *bond*. El sistema de fisuración propuesto es congruente con los patrones de fisuración en servicio observados. En la Figura VII.3 se muestran las armaduras ortogonales que atraviesan las esquinas de los AMM y su clasificación. Para la armadura diagonal no se requiere realizar ninguna hipótesis en lo que respecta a las fisuras adyacentes dado que en la formulación general para las dos hipótesis cinemáticas planteadas, (VII.2) y (VII.5), intervienen sólo las armaduras ortogonales.

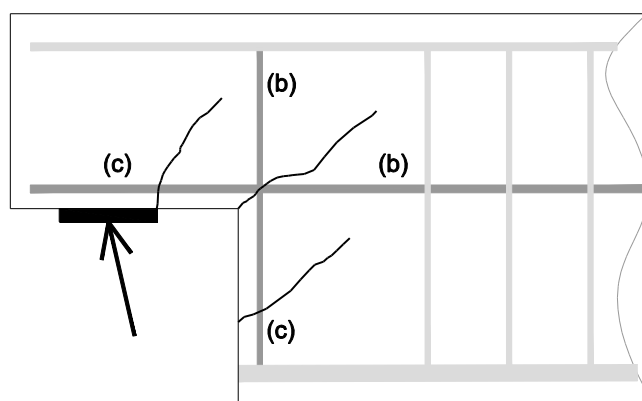


Figura VII.3: Clasificación de los extremos de las armaduras en función de la fisuración adyacente

El desplazamiento de la fisura en dirección de una armadura “i” ($w_{b,i}$), se divide por tanto en la contribución de cada uno de los extremos “j” en que queda dividida la armadura por la fisura:

$$w_{b,i} = w_{b,i,1} + w_{b,i,2} = \sum_{j=1}^2 w_{b,i,j} \quad (\text{VII.7})$$

Cada una de las componentes anteriores representa el deslizamiento relativo entre las armaduras y el hormigón:

$$w_{b,i,j} = \int_0^x (\varepsilon_{s,i}(\xi) - \varepsilon_c(\xi)) \cdot d\xi \quad (\text{VII.8})$$

En la ecuación anterior es habitual despreciar las deformaciones del hormigón (ε_c) por ser mucho menores que las del acero ($\varepsilon_{s,i}$). Será necesario integrar las deformaciones del acero en una longitud tal que la armadura haya transmitido toda su carga al hormigón ($l_{b,i}$), salvo que esta longitud sea superior a la que se prevea que aparezca una fisura cercana ($l_{c,i}$). Este último caso revela la generación de una fisura adyacente, por lo que la integración deberá de realizarse hasta la mitad de la separación entre fisuras ($l_{c,i}/2$), tal y como se ilustra en la Figura VII.4.

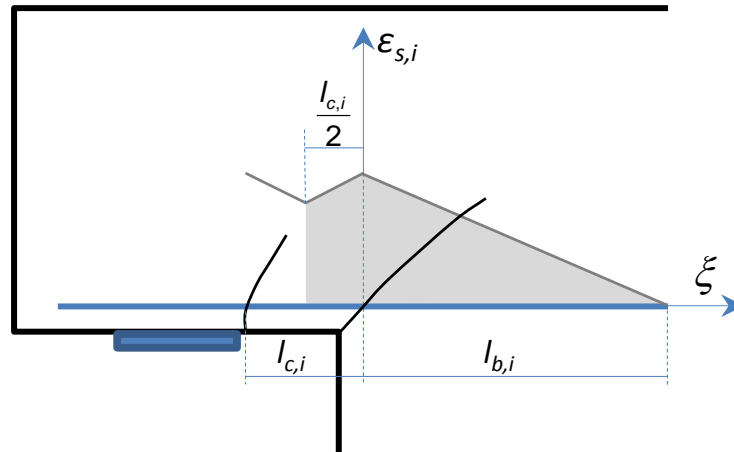


Figura VII.4: Anclaje de armaduras y aparición de fisuras adyacentes

La integración de la ecuación (VII.8), al considerar una tensión tangencial constante, da lugar a los siguientes resultados:

$$\text{- Caso b, o caso c con } l_{b,i} \leq l_{c,i}: w_{b,i,j} = \frac{\varepsilon_{s,i} \cdot l_{b,i}}{2} \quad (\text{VII.9})$$

$$\text{- Caso c con } l_{b,i} > l_{c,i}: w_{b,i,j} = \frac{\varepsilon_{s,i} \cdot l_{c,i}}{2} \left(1 - \frac{l_{c,i}}{4 \cdot l_{b,i}} \right) \quad (\text{VII.10})$$

donde:

$\varepsilon_{s,i}$ es la deformación de la armadura “i” a la altura de la fisura

Para el “caso c”, en el cual es posible la fisuración, la aparición de una fisura cercana se traduce en ese instante en un descenso del 25% en el término $w_{b,i,j}$. La aplicación de las ecuaciones (VII.9) y

(VII.10) requiere conocer las longitudes de anclaje ($l_{b,i}$) y de separación entre fisuras ($l_{c,i}$), así como las deformaciones máximas de las armaduras (en la fisura). El cálculo de estos factores se describe a continuación en los apartados VII.2.3 y VII.2.4 respectivamente.

VII.2.3 Longitud de anclaje y longitud de separación entre fisuras

La longitud desde la fisura en la que la armadura "i" anclaría toda su tensión ($l_{b,i}$) se determina al igualar la fuerza de la armadura en la fisura con la fuerza de adherencia necesaria para realizar el anclaje:

$$\sigma_{s,i} \cdot A_{s,i} = \tau_{bms,i} \cdot P_{s,i} \cdot l_{b,i} \rightarrow l_{b,i} = \frac{\sigma_{s,i} \cdot \phi_{s,i}}{4\tau_{bms,i}} = \frac{\varepsilon_{s,i} \cdot E_s \cdot \phi_{s,i}}{4\tau_{bms,i}} \quad (\text{VII.11})$$

donde:

$\sigma_{s,i}$ tensión máxima de la armadura (en la fisura)

$A_{s,i}$ área de la armadura

$\tau_{bms,i}$ tensión media de adherencia entre la armadura y el hormigón

$P_{s,i}$ perímetro de la armadura

Por lo que respecta a la longitud desde la fisura principal en la que se generaría una fisura adyacente debido a la tensión transmitida por la armadura "i" al hormigón ($l_{c,i}$), se da cuando la carga que transmite la armadura por adherencia iguala a la resistencia a tracción ($f_{ct,m}$) aplicada en el tirante efectivo de hormigón generado alrededor de la armadura:

$$\tau_{bms,i} \cdot P_{s,i} \cdot l_{c,i} = f_{ct,m} \cdot A_{c,ef,i} \rightarrow l_{c,i} = \frac{\phi_{s,i} \cdot f_{ct,m}}{4\tau_{bms,i} \frac{A_{s,i}}{A_{c,ef,i}}} \quad (\text{VII.12})$$

donde:

$P_{s,i}$ perímetro de la armadura

$A_{c,ef,i}$ área del tirante efectivo de hormigón alrededor de la armadura

$\phi_{s,i}$ diámetro de la armadura

$\tau_{bms,i}$ tensión media de adherencia entre acero y hormigón

$A_{s,i}$ área de la armadura

La formulación anterior recoge el cociente entre el diámetro de la armadura y su cuantía. Buscando la analogía con la fisuración por flexión en vigas se estudia la incorporación a la formulación anterior del recubrimiento de la armadura (c_i) y de la separación entre armaduras (s_i). Se incluye en el modelo sólo la componente c_i dado que no se dispone en la bibliografía de un banco de datos de AMM que permita determinar de manera efectiva de un excesivo número de parámetros en el modelo. Se ha observado además que la precisión de la determinación de $l_{c,i}$ tiene una importancia reducida en el

resultado final, dado que las aberturas de fisura hasta el entorno de 0.4 mm se desarrollan principalmente en la fase de fisuración aislada. La formulación finalmente propuesta, en la que los coeficientes $k_{1,i}$ y $k_{2,i}$ se determinarán en el proceso de ajuste experimental posterior, es la siguiente:

$$l_{c,i} = k_{1,i} 2c_i + k_{2,i} \frac{\phi_{s,i} \cdot f_{ct,m}}{4\tau_{bms,i} \frac{A_{s,i}}{A_{c,ef,i}}} \quad (\text{VII.13})$$

Para el cálculo del área del tirante efectivo de hormigón ($A_{c,ef,i}$) se considerará una sección rectangular cuya altura es igual a dos veces la distancia al centro de gravedad del tirante de acero, tal y como se especifica en la Figura VII.5. Cabe destacar que el recubrimiento (c_i) en la formulación (VII.13) hace referencia a la distancia al centro de gravedad de la primera armadura si el tirante está formado por varios planos de armaduras.

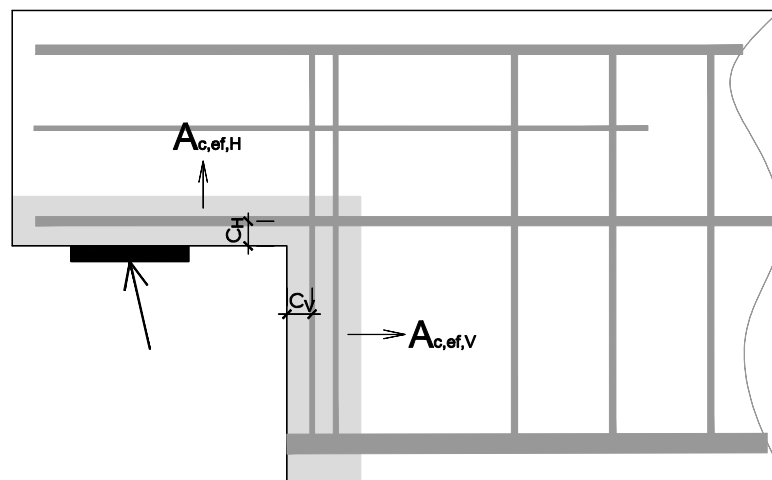


Figura VII.5: Definición de tirantes efectivos de hormigón y recubrimientos de armaduras

Tanto en el cálculo de la longitud de anclaje como en la longitud de separación entre fisuras interviene la tensión media de adherencia entre el acero y el hormigón de cada una de las armaduras ($\tau_{bms,i}$). En el apartado IV.3 se describió la tendencia general a la aparición de fisuras horizontales dispuestas sobre el tirante principal horizontal (A_{sH}) o a que la fisura principal en servicio tienda a orientarse horizontalmente al cruzar dicho tirante; dichas fisuras afectan negativamente a las condiciones de adherencia de A_{sH} . La aplicación del modelo es congruente con dicha observación, dado que requiere emplear una adherencia reducida para A_{sH} respecto a las consideradas para las otras armaduras para verificar la relación (VII.4) que establece la compatibilidad entre las aberturas de fisura de los mecanismos ortogonal y diagonal.

En base a las consideraciones anteriores se proponen los siguientes valores para la tensión media de adherencia:

- Para la armadura vertical y diagonal se considera el valor propuesto por el MC-2010 [13] para cargas instantáneas: $\tau_{bms,V} = \tau_{bms,D} = 1.8 \cdot f_{ct,m}$

- Para la armadura horizontal se considera un valor de adherencia ($\tau_{bms,H}$) inferior al anterior. Este valor se determina posteriormente en el apartado VII.2.8.1 mediante ajuste experimental.

Para la aplicación del modelo racional en el presente estudio el modelo se ha considerado una resistencia media a tracción ($f_{ct,m}$) estimada a partir del valor experimental de la resistencia a compresión simple, mediante la formulación propuesta por el MC-2010 [13].

VII.2.4 Determinación de deformaciones en armaduras

El modelo racional propuesto es aplicable independientemente de la fuente con la que se obtengan las deformaciones de las armaduras, tal y como se indicó en la introducción del apartado VII.2. La precisión de los modelos estará condicionada por la bondad de las deformaciones que se introduzcan como datos en los modelos.

Una posibilidad es el empleo de **modelos numéricos** para determinar las deformaciones de las armaduras; esta opción representa un nivel de aproximación superior a los modelos de cálculo aptos para el cálculo manual. Para ilustrar esta alternativa, en el apartado VII.2.8.1 se emplearán los resultados de deformaciones provenientes del modelo numérico de campos de tensiones elasto-plásticas (EPSF) descrito en el Capítulo VI²⁵.

Otra alternativa es emplear **modelos de cálculo simplificados** de las deformaciones aptos para el cálculo manual. Para el cálculo manual de la abertura de fisura en AMM se propone emplear el modelo de cálculo simplificado en rotura, descrito en el apartado V.2, con las siguientes consideraciones:

- Para los modelos de bielas y tirantes definidos (esquema resistente ortogonal y diagonal) se extrae, para cada uno de los tirantes principales del AMM, el cociente entre el esfuerzo soportado por dicho tirante y la fracción de la carga resistida por el esquema correspondiente (ortogonal o diagonal). Estos cocientes se representan por el término α_i .
- Se establece un límite inferior (k_α) al valor de α_V , para limitar en servicio la componente vertical no resistida por la armadura vertical (A_{sv}) en el esquema ortogonal. Este procedimiento es congruente con las observaciones experimentales (véase apartado V.1.3), según las cuales la contribución del tirante A_{s3} en servicio es limitada y aumenta, en su caso, en la fase de redistribución plástica. El parámetro k_α se determinará experimentalmente en el apartado VII.2.8.2.
- Se considera una proporcionalidad lineal entre la carga soportada por cada esquema resistente ($V_{s,O}$ y $V_{s,D}$) y las deformaciones²⁶ de las armaduras correspondientes ($\epsilon_{s,i}$).

²⁵ En el apartado VI.3.1.2 se ha observado que la distribución de los mecanismos resistentes ortogonal y diagonal dada por los modelos de EPSF es adecuada tanto en rotura como en servicio.

²⁶ Para armaduras pretensadas deben considerarse los incrementos de deformación a partir de la predeformación aplicada a la armadura.

- El reparto de carga equilibrado por cada uno de los esquemas resistentes, ortogonal ($V_{s,O}=x \cdot V_s$) y diagonal ($V_{s,D}=(1-x) \cdot V_s$), se determina de forma que se satisfaga la condición de compatibilidad establecida expresada por la ecuación (VII.4)²⁷.

Los coeficientes α_i para el modelo propuesto, en función de si se desarrolla el modelo de rotura A o B según lo indicado en el apartado V.2 resultan:

- Armadura vertical (A_{sV}):

- Modelo A: $\alpha_V = \frac{T_{AsV}}{V_u - T_{AsD,u} \cdot \sin \beta_D} = 1$ (VII.14)

- Modelo B: $\alpha_V = \frac{T_{AsV,u}}{V_u - T_{AsD,u} \cdot \sin \beta_D} \geq k_\alpha$ (VII.15)

- Armadura horizontal (A_{sH}):

- Modelo A o B con $\alpha_V > k_\alpha$: $\alpha_H = \frac{T_{AsH,u}}{V_u - T_{AsD,u} \cdot \sin \beta_D}$ (VII.16)

- Modelo B con $\alpha_V = k_\alpha$: $\alpha_H = \frac{\alpha_V}{\tan \theta_{1A-2}} + \frac{1 - \alpha_V}{\tan \theta_2} + \frac{\mu}{x}$ (VII.17)

- Armadura diagonal (A_{sD}):

- Modelo A o B: $\alpha_D = \frac{T_{AsD,u}}{T_{AsD,u} \cdot \sin \beta_D} = \frac{1}{\sin \beta_D}$ (VII.18)

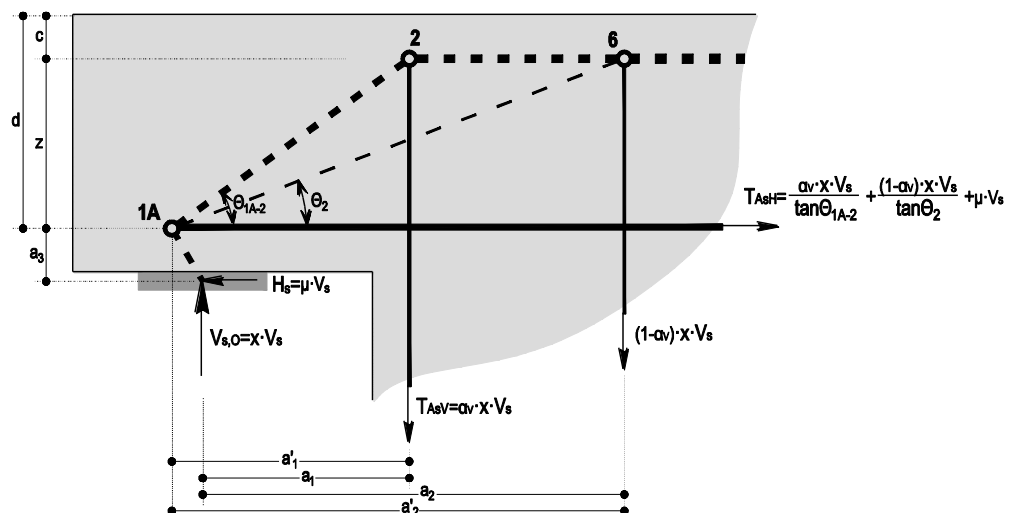


Figura VII.6: Modelo propuesto para cálculo en servicio de deformaciones con limitación de redistribución

²⁷ Esta forma de proceder es congruente con los resultados experimentales, en los que el mecanismo resistente diagonal (más eficiente para el control de la fisuración), adquiere más carga en servicio de manera relativa al reparto producido en rotura.

La deducción de la relación (VII.17) se ilustra en la Figura VII.6; se considera la hipótesis de que en servicio la componente vertical del esquema resistente ortogonal no resistida por la armadura vertical $((1-\alpha_v) \cdot x \cdot V_s)$ se sitúa en la misma posición a la del tirante T_{As3} del modelo simplificado de bielas y tirantes tomado como base para establecer este modelo.

Los coeficientes α_i anteriores tienen en cuenta el efecto de la inclinación de la carga. En caso de que alguna de estas armaduras se disponga pretensada, se debe descontar de los términos anteriores la deformación inicial producida por la fuerza de tesado. Para el caso de pretensado analizado en el presente trabajo es necesario considerar el siguiente término para la armadura horizontal:

$$\alpha_{H,pret} = \alpha_H - \frac{P}{x \cdot V_s} \geq 0 \quad (\text{VII.19})$$

donde:

- α_H coeficiente sin considerar el efecto del pretensado: (VII.16) y (VII.17)
- P es la fuerza de tesado aplicada sobre la armadura A_{sH}

Para todas las piezas analizadas en las que se tesó la armadura horizontal y para el rango de cargas en el que se aplica la metodología, el coeficiente $\alpha_{H,pret}$ definido en la ecuación (VII.19) es nulo. Este resultado implica que en el modelo propuesto no se llega a producir en servicio la descompresión del hormigón en la dirección del tirante. En estas condiciones el desplazamiento de la fisura en la dirección de la armadura tesada ($w_{b,H}$) resulta nulo. En caso de que no se verificara esta hipótesis debería determinarse el valor de $w_{b,H}$ para el caso de una armadura no adherente con una metodología análoga a la planteada en el apartado VII.2.2 para el caso de armaduras adherentes.

Una vez conocidos los factores α_i , la expresión del término 'x' que fija el reparto entre los mecanismos resistentes ortogonal y diagonal se determina de forma que se satisfaga la compatibilidad de aberturas de fisura establecida por la expresión (VII.4). Los desplazamientos de la fisura en la dirección de cada una de las armaduras ($w_{b,i}$), de acuerdo con lo establecido en el apartado VII.2.2, pueden establecerse en la fase previa a la aparición de fisuras cercanas mediante la siguiente relación:

$$w_{b,i} = \frac{E_s}{8} \cdot \frac{\varepsilon_{s,i}^2 \cdot \phi_{s,i}}{\tau_{bms,i}} \quad (\text{VII.20})$$

En el modelo propuesto para el cálculo manual de las deformaciones de las armaduras, la relación entre dichas deformaciones y la carga actuante en servicio (V_s) queda de la siguiente forma:

$$\varepsilon_{s,V} = \frac{\alpha_V \cdot x \cdot V_s}{E_s \cdot A_{s,V}} \quad \varepsilon_{s,H} = \frac{\alpha_H \cdot x \cdot V_s}{E_s \cdot A_{s,H}} \quad \varepsilon_{s,D} = \frac{\alpha_D (1-x) \cdot V_s}{E_s \cdot A_{s,D}} \quad (\text{VII.21})$$

La aplicación de las expresiones (VII.20) y (VII.21) en la ecuación (VII.4) de compatibilidad permite establecer la siguiente expresión para determinar la fracción de carga soportada por el esquema resistente ortogonal:

$$x = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\zeta_H \cdot \cos(\beta_D) + \zeta_V \cdot \sin(\beta_D)}{\zeta_D}}} \quad (\text{VII.22})$$

$$\text{donde: } \zeta_i = \frac{\alpha_i^2 \cdot \phi_{s,i}}{A_{s,i}^2 \cdot \tau_{bms,i}} \quad (i=H,V,D)$$

Los valores obtenidos con la expresión (VII.22) empleando unas tensiones de adherencia adecuadas son congruentes con las observaciones experimentales.

En caso de emplearse otro modelo para el cálculo de las deformaciones de las armaduras que tampoco verifique las condiciones de compatibilidad resultará también de aplicación la expresión (VII.22) sin más que considerar los coeficientes α_i asociados al modelo concreto.

VII.2.5 Inclinación de la fisura

En la formulación general del método propuesto para el cálculo de la abertura (VII.2) asociada a la hipótesis cinemática con deslizamiento en la fisura interviene la inclinación de ésta (θ_c). Es necesario establecer una hipótesis con la cual poder determinar dicha inclinación.

Una alternativa es considerar nulo el deslizamiento en la fisura; esta hipótesis es congruente con las observaciones experimentales (véase apartado III.5). Establecida dicha hipótesis, la inclinación de la fisura queda fijada mediante la expresión (VII.6). La hipótesis cinemática sin deslizamiento en la fisura puede considerarse un caso particular de la hipótesis cinemática con deslizamiento en la que se considera la hipótesis de que θ_c viene dada por la expresión (VII.6).

Otra alternativa a la hipótesis anterior es considerar que la fisura se desarrolla con una inclinación perpendicular a la dirección de máxima extensión. En estas condiciones es razonable suponer adherencia perfecta, resultando:

$$\tan^2 \theta_c = \frac{\varepsilon_{s,H} - \varepsilon_{c1}}{\varepsilon_{s,V} - \varepsilon_{c1}} \quad (\text{VII.23})$$

La ecuación (VII.23) relaciona la inclinación de la fisura con las deformaciones de las armaduras ($\varepsilon_{s,H}$, $\varepsilon_{s,V}$) y la deformación del hormigón en la dirección la fisura (ε_{c1}). Esta última deformación puede considerarse despreciable en comparación con las deformaciones de las armaduras, por lo que la expresión (VII.23) puede aproximarse como sigue:

$$\tan^2 \theta_c \simeq \frac{\varepsilon_{s,H}}{\varepsilon_{s,V}} \quad (\text{VII.24})$$

VII.2.6 Reducción por biselado de la esquina (k_b)

Se ha comprobado experimentalmente que la disposición de un bisel en la esquina de la pieza tiende a reducir la abertura de fisura en caso de que se generen dos fisuras en los vértices del bisel

(véase Figura IV.14). El modelo general formulado contempla la existencia de una única fisura, aunque podría extenderse al caso de dos fisuras en el bisel.

Dado que experimentalmente se ha comprobado que la reducción de la abertura de fisura por el biselado del vértice es similar en todas las piezas analizadas, se propone un enfoque simplificado para el cálculo de la abertura de fisura en piezas biseladas. Dicho enfoque consisten en la aplicación de un factor reductor (k_b) a la abertura de fisura calculada mediante el método propuesto considerando la existencia de una única fisura.

Experimentalmente se ha observado que la reducción se sitúa entre el 20% y el 35%. El valor concreto del parámetro k_b se determinará mediante ajuste experimental a partir de los datos propios en el apartado VII.2.8.2, comprobándose además su adecuación a los resultados experimentales de piezas biseladas disponibles de otro estudio (Clark y Thorogood [46]).

VII.2.7 Contribución del hormigón (k_c)

En caso de que las deformaciones de las armaduras empleadas en la formulación general del modelo hayan sido obtenidas mediante modelos que no incorporan la contribución del hormigón a tracción, los valores de las aberturas de fisura quedan sobreestimados para niveles de cargas cercanos a la carga de fisuración. Este fenómeno es especialmente relevante en piezas con cuantías de armadura bajas, en las que la fase de servicio puede estar próxima a la fisuración.

Una forma sencilla de considerar este efecto es aplicar un factor reductor (k_c) a la abertura de fisura calculada mediante el modelo propuesto. A continuación se justifica la expresión propuesta para este factor.

La consideración de tracciones en la fisura se fundamenta en principios de mecánica de la fractura (véase Figura VII.7.a, ley de *softening* propuesta por MC-2010 [13]). Los valores aproximados de aberturas de fisura que definen dicha ley para un hormigón convencional son de $w_1=0.05$ mm y $w_c=0.25$ mm. Aún para aberturas de fisura máximas superiores a 0.25 mm, en las inmediaciones de la fibra neutra la fisura siempre admite ciertas tracciones (véase Figura VII.7.b).

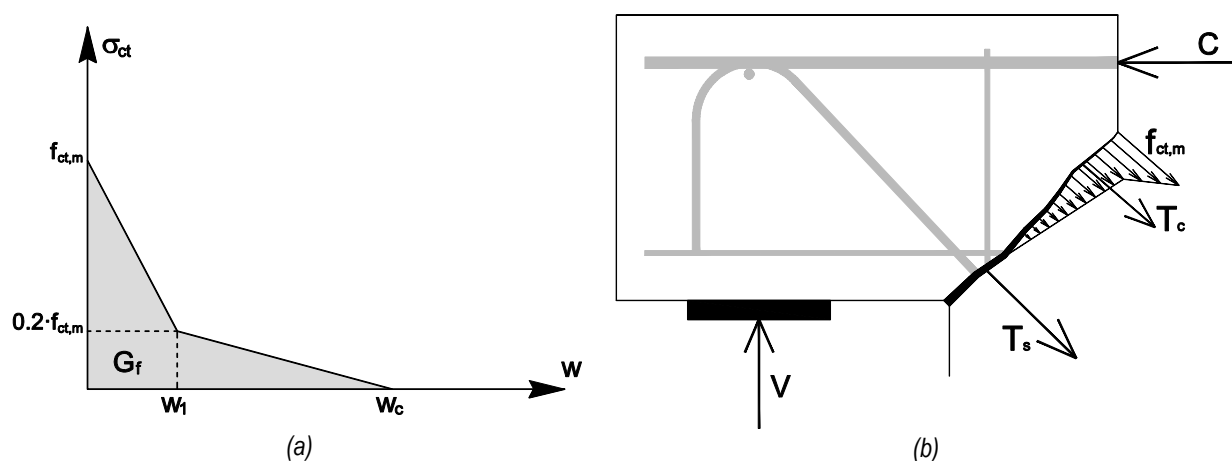


Figura VII.7: (a) Ley de *softening* en la fisura propuesta por MC-2010 [13]; (b) Esquema simplificado tracciones en el hormigón

El hormigón en tracción genera una resultante (T_c), cuya componente vertical ($T_{c,v}$) es capaz de equilibrar parte de la carga actuante. Para el cálculo de la abertura de fisura debería descontarse esta componente $T_{c,v}$ de la carga actuante si se utiliza un modelo que no tenga en cuenta la tracción del hormigón en el cálculo de las deformaciones de las armaduras.

Según la formulación propuesta, la abertura de fisura es proporcional al cuadrado de la carga actuante ($w \propto \varepsilon_s^2 \propto \sigma_s^2 \propto V^2$) hasta la aparición de fisuras cercanas. La tracción absorbida por el hormigón en la fisura, al equilibrar una parte de la carga aplicada, produce también una reducción proporcional de la abertura. Esta reducción justifica el empleo de un coeficiente reductor global de la abertura de fisura (k_c) para tener en cuenta la contribución del hormigón en tracción.

La aplicación de la ley de *softening* en la fisura (véase Figura VII.7) para el cálculo de k_c no se considera suficientemente operativa²⁸, por lo que en el Anejo D se obtiene un procedimiento simplificado basado en la formulación anterior, en la que sólo interviene la carga de fisuración (V_{cr}). La formulación propuesta para el coeficiente reductor k_c es la siguiente:

$$k_c = 1 - k_{1,c} \left(\frac{V_{cr}}{V} \right)^{k_{2,c}} \geq k_{3,c} \quad (\text{VII.25})$$

Los parámetros $k_{1,c}$, $k_{2,c}$, y $k_{3,c}$ que intervienen en la expresión anterior serán determinados mediante ajuste experimental en el apartado VII.2.8.2.

Para su aplicación sobre piezas pretensadas se propone una traslación de la relación anterior en un valor de la carga igual al incremento de la carga de fisuración ocasionado por la introducción de la fuerza de tesado, generalizándose la expresión anterior en:

$$k_c = 1 - k_{1,c} \left(\frac{V_{cr}^*}{V - (V_{cr} - V_{cr}^*)} \right)^{k_{2,c}} \geq k_{3,c} \quad (\text{VII.26})$$

donde:

V_{cr}^* carga de fisuración sin considerar el pretensado

V_{cr} carga de fisuración considerando el pretensado

Para calcular el coeficiente k_c se requiere determinar la carga de fisuración (V_{cr}). A los efectos exclusivos del cálculo de k_c se propone la siguiente formulación para V_{cr} (plantada en el Anejo E):

$$V_{cr} = 0.4 \frac{f_{ct} + B}{A} \quad (\text{VII.27})$$

donde:

$$A = \frac{4 \cdot \mu}{b \cdot h} + \frac{6 \cdot a'}{b \cdot h^2} ; B = \frac{P}{b \cdot h} + \frac{6 \cdot P \cdot e}{b \cdot h^2} \leq 9 \text{ MPa}$$

²⁸ La aplicación de la ley de *softening* exige conocer a priori la abertura de fisura. Existe además indeterminación en la profundidad de la fibra neutra, especialmente para aberturas de fisura bajas en las que la fisura todavía se está desarrollando.

a'	distancia del eje del apoyo a la sección de cambio de canto
b	ancho de la pieza
h	canto de la pieza sobre el apoyo
e	excentricidad en la sección del pretensado horizontal
P	fuerza de tesado de la armadura horizontal
μ	cociente entre la fuerza horizontal y la fuerza vertical en el apoyo

VII.2.8 Parámetros del modelo

En los apartados anteriores se ha definido el modelo racional, a falta de determinar una serie de parámetros. Dichos parámetros serán determinados experimentalmente a continuación a partir de los resultados del presente estudio. El modelo será además contrastado con los resultados experimentales de otros autores en el apartado VII.4.

La estrategia general que se sigue en los procesos de ajuste desarrollados en el presente capítulo es obtener los valores de los parámetros que den lugar a un modelo que minimice la suma de residuos al cuadrado para aberturas de fisura experimentales de hasta 0.6 mm. El proceso se desarrolla de manera secuencial para analizar el efecto de cada parámetro en los ensayos en que dicho parámetro deba tener un efecto significativo de acuerdo al sentido físico del problema. El valor de cada parámetro se limita además dentro de un rango compatible con dicho sentido físico del problema, ajustándose el valor final a un máximo de 2 cifras significativas.

Las representaciones gráficas tanto de éste como de otros modelos de cálculo de aberturas de fisura (véase por ejemplo Figura VII.8) muestran los resultados de las aberturas de fisura estimadas (W_{model}) para datos experimentales de hasta 0.8 mm (W_{test}). Se representa con una línea de trazos la recta correspondiente a $W_{\text{model}}=W_{\text{test}}$; se incluyen además como referencia dos líneas punteadas que representan la envolvente de la dispersión entre ensayos gemelos, previamente determinada en el apartado IV.5.1.2. Las figuras contienen también un resumen de los parámetros estadísticos de la estimación: pendiente (*slope*) y coeficiente de determinación (R^2). Dichos parámetros estadísticos se obtienen para el rango completo de aberturas de fisura del gráfico (hasta 0.8 mm) y para un sub-rango que engloba los límites máximos de aberturas de fisura habitualmente exigidos por durabilidad (hasta 0.4 mm). Tanto en las tablas como en el texto se emplea una notación en la que a ' R^2 ' o '*slope*' le sigue un subíndice que simboliza la abertura de fisura hasta la que se calcula el estadístico (así, $R^2_{0.4}=0.912$, simboliza que el coeficiente de determinación para aberturas de fisura de hasta 0.4 mm toma un valor de 0.912).

VII.2.8.1 Determinación de la adherencia de la armadura horizontal mediante las deformaciones del modelo de EPSF

Para aplicar el modelo racional en cualquiera de sus variantes (distintas hipótesis cinemáticas o extensiones desarrolladas) resulta imprescindible determinar el valor de la tensión de adherencia de la armadura horizontal ($\tau_{\text{bms,H}}$). En consecuencia, se comienza por determinar este parámetro.

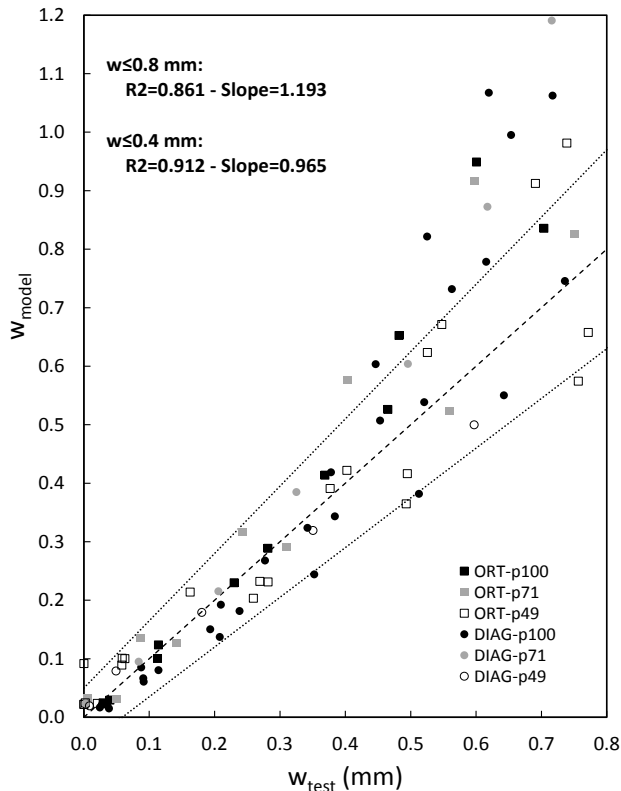


Figura VII.8: Síntesis de resultados de aberturas de fisura obtenidas mediante EPSF: series DEB-1.# y DEB-2.# (exceptuando config. DEB-1.3)

Para determinar $\tau_{bms,H}$ se aplica el modelo racional considerando la hipótesis de deslizamiento nulo en la fisura y sin incorporar la influencia de la fisuración cercana, ni la contribución del hormigón en tracción ($k_c=1$). El modelo aplicado de esta forma requiere determinar exclusivamente el parámetro $\tau_{bms,H}$ para quedar perfectamente definido siempre que se aplique a piezas sin la esquina biselada (para no hacer intervenir el parámetro k_b). Las series DEB-1.# y DEB-2.# de la presente campaña experimental quedan adecuadamente representadas por el modelo racional con estas particularidades si se excluye la configuración DEB-1.3²⁹. El valor adecuado de $\tau_{bms,H}$ se determina a partir de los resultados experimentales promediados entre ensayos gemelos para estas configuraciones. Para ello se aplica la particularización descrita del modelo racional empleando los resultados de

deformaciones del modelo de campos de tensiones elasto-plásticos (véase apartado VI.3.1.3).

La distribución entre los mecanismos resistentes ortogonal y diagonal dada por los modelos de EPSF se ajusta a los resultados experimentales, por lo que se determina el valor de $\tau_{bms,H}$ de forma que se satisfaga la ecuación de compatibilidad previamente desarrollada (VII.4). El valor de la tensión de adherencia de la armadura horizontal ($\tau_{bms,H}$) propuesta para el modelo racional se muestra en la expresión (VII.28).

$$\tau_{bms,H} = \frac{\tau_{bms,V}}{2.5} = \frac{\tau_{bms,D}}{2.5} = 0.72 \cdot f_{ct,m} \quad (VII.28)$$

Una vez definido el valor de $\tau_{bms,H}$ se discuten, a continuación, los resultados del modelo racional con las hipótesis consideradas empleando las deformaciones extraídas de los modelos de EPSF. En la Figura VII.8 se comparan de forma discreta las determinaciones de las aberturas de fisura agrupadas en series por niveles de cuantía de armadura y por la presencia o no de armadura diagonal.

²⁹ La configuración DEB-1.3 por su muy reducida cuantía de la armadura vertical imposibilita una estimación válida de la abertura de fisura si no se considera la contribución del hormigón en tracción (factor k_c).

El coeficiente de determinación de la estimación ($R^2_{0.8}=0.86$) es inferior a la dispersión del proceso³⁰ ($R^2_{0.8}=0.92$); la pendiente ($\text{slope}_{0.8}=1.19$) denota una tendencia a la sobreestimación. Se observa que la mayoría de las determinaciones hasta 0.4-0.5 mm se encuentran dentro de la envolvente de la dispersión propia del proceso; a partir de dicho umbral el modelo tiene una mayor dispersión, con una tendencia a la sobreestimación de las aberturas de fisura. En consecuencia, el funcionamiento del modelo hasta aberturas de fisuras de sólo 0.4 mm resulta más preciso ($R^2_{0.4}=0.91$; $\text{slope}_{0.4}=0.97$); la dispersión del modelo en este rango de aberturas de fisura es similar a la dispersión intrínseca del proceso ($R^2_{0.4}=0.90$). Dado que la pendiente del ajuste hasta aberturas de fisuras de 0.4 mm está en el entorno de la unidad puede concluirse que, con los valores propuestos de las tensiones de adherencia, se estima adecuadamente el valor medio de la abertura de fisura generada en la esquina de las piezas para dicho rango de aberturas.

En la Figura VII.9 se muestran las aberturas de fisura calculadas mediante EPSF comparadas de manera continua con los resultados experimentales para dos configuraciones, sin armadura diagonal (Figura VII.9.a) y con ella (Figura VII.9.b). En ambos casos el ajuste es muy preciso. Se observa que a partir de una determinada abertura de fisura la estimación queda del lado de la seguridad, lo cual podría estar justificado por el hecho de que no se haya incorporado el efecto de las fisuras cercanas en el modelo de cálculo empleado (el desarrollo de fisuras cercanas conlleva una descarga relativa de la fisura principal). Esta desviación se observa para aberturas de fisura superiores a 0.5 mm; a partir de dichas aberturas la estimación tiene una aplicación práctica relativa, dado que se corresponde con fisuras habitualmente incompatibles con los requisitos de durabilidad.

En las piezas representadas en la Figura VII.9 la no consideración de la contribución del hormigón en tracción ($k_c=1$) no conduce a una sobreestimación de las aberturas de fisura para cargas bajas dado que se trata de piezas con una cuantía de armadura alta (nivel p100). En estos casos la contribución del hormigón en tracción tiene un efecto limitado.

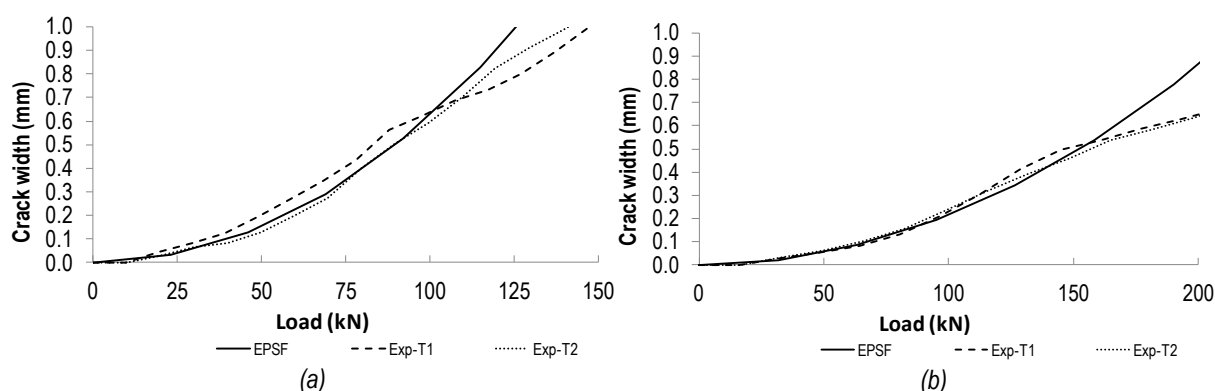


Figura VII.9: Comparativa detallada de aberturas de fisura experimentales y calculadas mediante EPSF: (a) DEB-1.8; (b) DEB-2.2

En base a los resultados para los ensayos realizados en la presente campaña experimental, se concluye que la metodología racional propuesta empleando los resultados de deformaciones del modelo

³⁰ La dispersión del proceso se encuentra determinada en el apartado IV.5.1.2 fruto del análisis de ensayos con replicación de piezas idénticas.

EPSF constituye una estrategia muy precisa para la determinación de las aberturas de fisura en AMM hasta el umbral de 0.4-0.5 mm.

VII.2.8.2 Determinación de restantes parámetros del modelo a partir de las deformaciones del modelo simplificado de bielas y tirantes

Los restantes parámetros que caracterizan el modelo racional se determinan mediante los resultados de deformaciones provenientes del modelo simplificado de bielas y tirantes apto para el cálculo manual (detallado en el apartado VII.2.4) aplicados a los resultados experimentales del presente estudio. Dichos parámetros definen la reducción por biselado de la esquina (parámetro k_b), la reducción por contribución del hormigón en tracción (factor k_c definido a partir de los parámetros $k_{1,c}$, $k_{2,c}$ y $k_{3,c}$), así como la longitud de separación entre fisuras (parámetros $k_{1,l}$ y $k_{2,l}$). Además de los parámetros propios del modelo racional, el modelo de cálculo de las deformaciones requiere determinar el coeficiente k_α que limita la contribución de esquemas resistentes distintos al de la armadura vertical (A_{sv}) en el esquema ortogonal.

El modelo de cálculo de las deformaciones no contempla la existencia de armaduras secundarias ni hormigón con fibras, por lo que se excluyen del análisis las configuraciones asociadas a estas tipologías (DEB-3.7, DEB-3.8, DEB-3.9, DEB-4.1, DEB-4.2 y DEB-4.3). Se excluye además del análisis los ensayos de la configuración DEB-3.6 en los que el biselado del vértice indujo la aparición de una sola fisura (véase apartado IV.5.1.7).

Como se ha indicado con anterioridad, caben dos alternativas para aplicar el modelo racional: suponer nulo el deslizamiento de la fisura ($\delta=0$) o establecer una hipótesis para la inclinación θ_c de la fisura. Considerando la hipótesis (VII.24) para θ_c los resultados son similares a los obtenidos suponiendo $\delta=0$, tal y como se ilustra en la Figura VII.10. Estos resultados justifican que la determinación de los parámetros del modelo se haga de forma independiente a la hipótesis considerada.

Se realiza un proceso de ajuste en el que se analiza la influencia de los distintos parámetros del modelo, obteniéndose los siguientes valores de los parámetros que definen por completo el modelo racional planteado:

- Contribución del hormigón: $k_{1,c}=2$; $k_{2,c}=2.5$; $k_{3,c}=0.5$
- Biselado del vértice: $k_b=0.7$
- Longitud entre fisuras: $k_{1,l}=1.0$; $k_{2,l}=1.2$

Por lo que respecta al ajuste del modelo propuesto para el cálculo manual de las deformaciones, se propone el siguiente valor del parámetro que lo caracteriza:

- Límite inferior del valor de α_v : $k_\alpha=0.5$

A continuación se analizará el funcionamiento del modelo. Para ello se estudia la influencia de las dos hipótesis alternativas establecidas, de la contribución del hormigón en tracción, así como de la fisuración cercana. También se compara el funcionamiento del modelo empleando las deformaciones

provenientes del modelo simplificado respecto al empleo de deformaciones extraídas de los modelos de EPSF.

Por lo que respecta a la influencia de las dos hipótesis cinemáticas establecidas, los resultados se muestran en la Figura VII.10. Los valores del coeficiente de determinación y de la pendiente para cada una de las series se muestran en la Tabla VII.2. La dispersión de los resultados es muy similar para ambas hipótesis. La hipótesis suponiendo nulo el deslizamiento de la fisura conduce a unas aberturas de fisura un 7% superiores en promedio a las del modelo considerando la hipótesis de establecer θ_c mediante la expresión (VII.24).

Tabla VII.2: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo racional considerando hormigón en tracción y fisur. cercana

		DEB-1.#	DEB-2.#	DEB-3.# - Bisel	DEB-3.# - Pret.	TODAS
Hipótesis (VII.24) θ_c	$R^2_{0.4}$	0.801	0.834	0.875	0.824	0.820
	Pendiente _{0.4}	0.965	0.852	0.988	1.051	0.964
	$R^2_{0.8}$	0.861	0.815	0.819	0.793	0.811
	Pendiente _{0.8}	1.098	1.117	1.235	1.330	1.174
Hipótesis $\delta=0$	$R^2_{0.4}$	0.795	0.832	0.881	0.822	0.818
	Pendiente _{0.4}	1.102	0.923	1.066	1.053	1.038
	$R^2_{0.8}$	0.852	0.815	0.833	0.792	0.819
	Pendiente _{0.8}	1.242	1.203	1.329	1.352	1.267

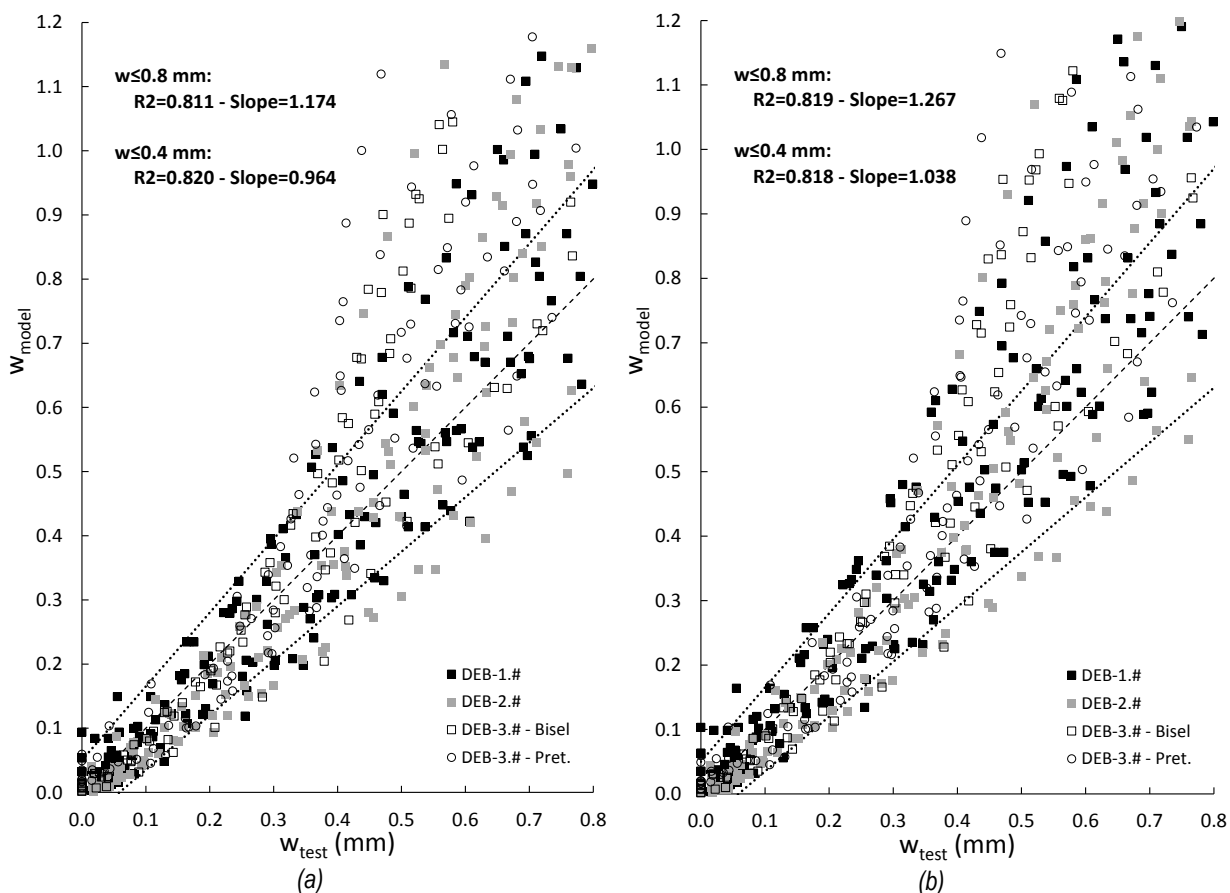


Figura VII.10: Comparativa entre aberturas de fisura experimentales y calculadas. Modelo racional considerando hormigón en tracción y fisuración cercana: (a) Hipótesis (VII.24) para θ_c ; (b) Hipótesis $\delta=0$

Las tendencias y la dispersión observadas entre las dos hipótesis cinemáticas establecidas son similares en todas las series analizadas. Para aberturas de fisura de hasta 0.4 mm la pendiente del ajuste es cercana a la unidad en ambos casos. Para aberturas superiores la pendiente global está influenciada por la tendencia del modelo a sobreestimar la abertura de fisura a partir de 0.3-0.4 mm en algunos ensayos.

A continuación, pasa a estudiarse la influencia en el modelo del empleo de deformaciones extraídas de modelos con distintos niveles de aproximación. Por comparación de los resultados aquí obtenidos con los obtenidos en el apartado VII.2.8.1 se puede concluir que la aplicación del modelo racional empleando las deformaciones provenientes de un modelo con un mayor nivel de aproximación da lugar a una estimación más precisa de las aberturas de fisura. En los resultados del modelo racional empleando las deformaciones del modelo de EPSF (véase Figura VII.8) también se ha observado una tendencia a sobreestimarse las aberturas de fisura a partir de 0.4 mm, no obstante, dichas sobreestimaciones son más reducidas. En consecuencia, las sobreestimaciones observadas a partir de 0.4 mm en el modelo racional con resultados de deformaciones a partir de modelos simplificados de bielas y tirantes son una combinación aditiva del propio error del modelo racional y del error en el cálculo de las deformaciones³¹.

Por consiguiente, puede concluirse que el modelo racional, partiendo de unos resultados de deformaciones obtenidos mediante el modelo simplificado planteado de bielas y tirantes, ajusta adecuadamente las aberturas de fisura hasta el entorno de los 0.4 mm; a partir de dicho valor el modelo conduce, en ocasiones, a resultados muy del lado de la seguridad.

La influencia en el modelo de la contribución del hormigón en tracción se analiza para el modelo racional sin deslizamiento. En la Figura VII.11 y en la Tabla VII.3 se muestran los resultados del modelo sin considerar la contribución del hormigón en tracción ($k_c=1$); el mismo modelo pero considerando la contribución del hormigón en tracción se mostraron en la Figura VII.10.b y en la Tabla VII.2.

Tabla VII.3: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo racional con hipótesis $\delta=0$ considerando fisuración cercana y despreciando contribución del hormigón en tracción ($k_c=1$)

	DEB-1.#	DEB-2.#	DEB-3.# - Bisel	DEB-3.# - Pret.	TODAS
$R^2_{0.4}$	0.791	0.825	0.877	0.821	0.779
Pendiente_{0.4}	1.355	0.973	1.091	1.132	1.153
$R^2_{0.8}$	0.852	0.816	0.832	0.783	0.816
Pendiente_{0.8}	1.353	1.222	1.340	1.379	1.317

Se observa que el factor k_c propuesto para la consideración de la contribución del hormigón en tracción afecta fundamentalmente a las configuraciones con cuantías bajas (existentes en la serie DEB-1.#) y para aberturas de fisura de hasta 0.4 mm aproximadamente. Esta observación se traduce en la pendiente del ajuste para la serie DEB-1.# para aberturas de fisura bajas, la cual está bastante cercana

³¹ Las deformaciones, en ciertos ensayos y a partir de dicho umbral de aberturas de fisuras (0.4 mm), tienen un comportamiento que no es posible captar con gran precisión con el modelo simplificado planteado para el cálculo manual.

a la unidad en el modelo considerando k_c (Pendiente_{0.4}=1.10) y aumenta un 23% al dejar de considerar el hormigón en tracción (Pendiente_{0.4}=1.35). En consecuencia aumenta la dispersión del ajuste para todos los ensayos analizados en aberturas de fisura bajas si no considera la contribución del hormigón (sin contribución: $R^2_{0.4mm}=0.78$; con contribución: $R^2_{0.4mm}=0.82$).

En base a estos resultados puede concluirse que la inclusión de la resistencia del hormigón en tracción mejora mucho los resultados en piezas con cuantías reducidas; en estos casos la no consideración de la contribución del hormigón en tracción conduce a sobreestimaciones considerables de las aberturas de fisura. Es para estas tipologías para las que el coeficiente k_c tiene una mayor utilidad. Para otros casos dicho factor sólo es efectivo para aberturas de fisura muy reducidas.

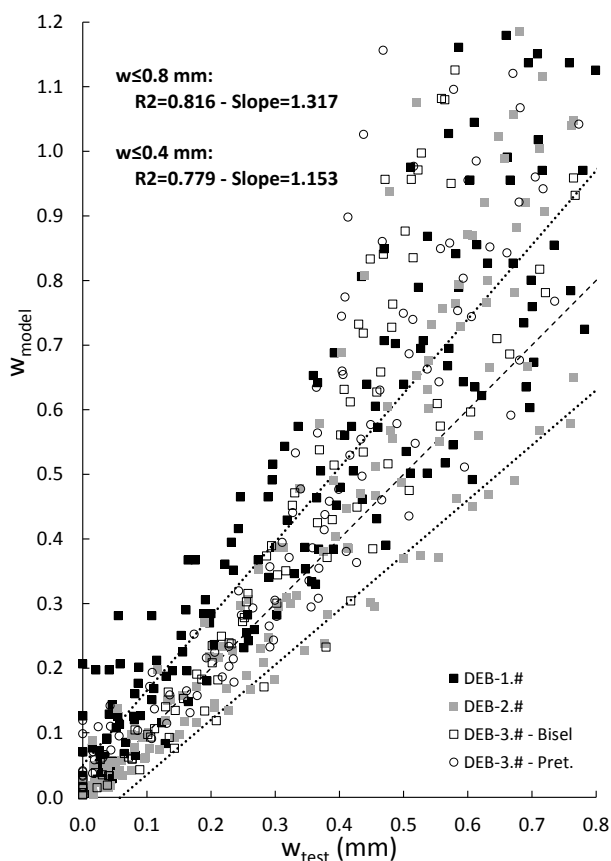


Figura VII.11: Comparativa entre aberturas de fisura experimentales y calculadas. Modelo racional con hipótesis $\delta=0$, considerando fisuración cercana y despreciando la contribución en tracción del hormigón ($k_c=1$)

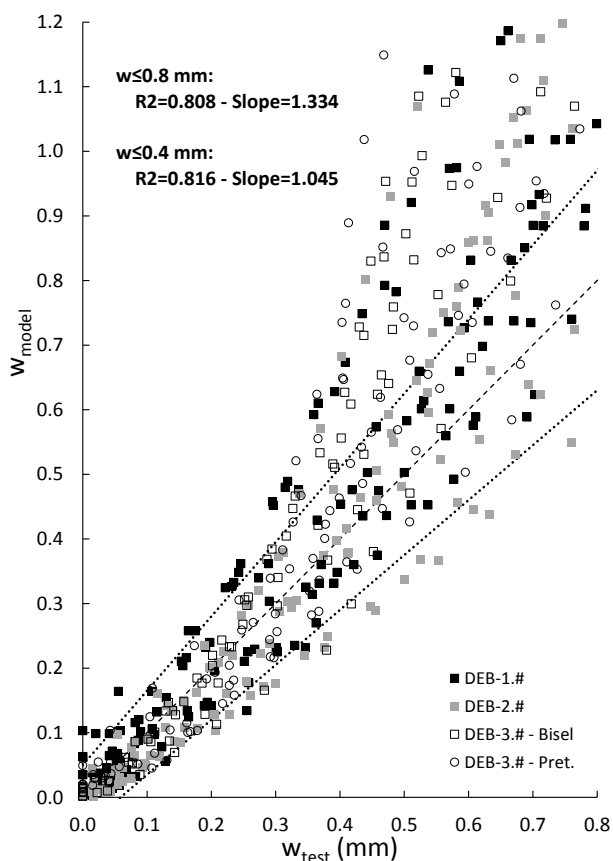


Figura VII.12: Comparativa entre aberturas de fisura experimentales y calculadas. Modelo racional con hipótesis $\delta=0$, considerando la contribución del hormigón en tracción y despreciando el efecto de la fisuración cercana

Por último, se analiza la influencia que tiene en el modelo la consideración de la fisuración cercana. En la Figura VII.12 se muestran los resultados del modelo sin considerar la fisuración cercana; estos resultados pueden compararse con los de la Figura VII.10.b obtenidos con el mismo modelo pero considerando en este caso la fisuración cercana.

Tanto visualmente como a través de los parámetros estadísticos se observa que la fisuración cercana no influye prácticamente para aberturas de hasta 0.4 mm, dado que es en este umbral cuando la fisuración cercana comienza a desarrollarse en el modelo. Para aberturas de fisura superiores sí que

se observa que afecta la inclusión de la fisuración cercana. El efecto de no considerarla se observa en la pendiente del ajuste, la cual aumenta un 5% (sin fisuración cercana: $Pendiente_{0.8mm}=1.33$; con fisuración cercana: $Pendiente_{0.8mm}=1.27$).

Por tanto, la inclusión en el modelo de la longitud de separación entre fisuras afecta fundamentalmente a las aberturas de fisura superiores a 0.4 mm, umbral a partir del cual el modelo se ha observado que deja de funcionar correctamente. La reducción correspondiente a la consideración de la fisuración cercana no consigue que el modelo funcione adecuadamente a partir de dicho umbral.

VII.2.9 Síntesis

El modelo racional planteado permite, conocidas las deformaciones de las armaduras que cruzan la fisura cerca del vértice, calcular las aberturas de fisura a la altura de las armaduras (w_{reinf}). En caso de querer obtenerse la abertura de fisura máxima generada en el borde de las piezas (w_{max}), y en ausencia de recomendaciones más específicas, se aconseja emplear la relación (IV.1).

El modelo es válido para el cálculo de cualquier tipología de AMM siempre que se disponga de un modelo adecuado para la estimación de las deformaciones. Se ha planteado una hipótesis cinemática que considera el deslizamiento en la fisura, la cual exige una hipótesis para determinar la inclinación de la fisura; se ha propuesto un procedimiento para determinar la inclinación de la fisura que concuerda bien con los resultados experimentales. Una alternativa a esta hipótesis es considerar nulo el deslizamiento de la fisura. Ambos procedimientos conducen a resultados similares. Se aconseja el empleo de la segunda hipótesis, por ser ésta más simple al no requerir el cálculo de la inclinación de la fisura.

El modelo contempla además la posibilidad de incluir el efecto de la fisuración cercana y la contribución del hormigón en tracción. La consideración de la fisuración cercana mejora el comportamiento del modelo a partir de 0.4 mm, sin llegar a conseguir que la dispersión a partir de dicho rango de aberturas de fisuras esté controlada. Para aberturas de fisura de hasta 0.4 mm no se aconseja incluir este efecto. En piezas con cuantías reducidas el factor k_c desarrollado, el cual considera la contribución resistente del hormigón en tracción, evita sobreestimaciones excesivas de las aberturas de fisura; dicho factor puede aplicarse de manera consistente a todas las piezas.

Se ha estudiado la utilización de deformaciones calculadas a partir de los modelos simplificados de bielas y tirantes propuestos en el presente trabajo (apartado V.2), aplicando un coeficiente de reparto entre el esquema ortogonal válido para servicio. Dicha estrategia es apta para un cálculo manual de las aberturas de fisura y da lugar a estimaciones bastante precisas hasta aberturas de fisura de 0.4 mm; a partir de dicho umbral las estimaciones pueden quedar muy del lado de la seguridad. Dado que los modelos simplificados de bielas y tirantes propuestos no permiten incluir las armaduras secundarias sobre el apoyo o el hormigón con fibras no será posible calcular con esta estrategia aberturas de fisura para dichas tipologías. En el apartado VII.4 se contrasta el funcionamiento de esta estrategia de cálculo con datos experimentales de otros autores, así como su comparación con otras formulaciones existentes.

El empleo de modelos más complejos, como son los modelos de campos de tensiones-elasto plásticos desarrollados en el Capítulo VI, permite una estimación más precisa de las deformaciones, redundado en una mayor precisión de la estimación de la abertura de fisura. Por otra parte, el empleo de estos modelos permite estudiar un rango más amplio de tipologías, como son piezas con armaduras secundarias o con hormigón con fibras.

VII.3 Modelo empírico

VII.3.1 Descripción

El modelo empírico pretende ajustar una fórmula lo más simplificada posible para calcular la abertura de fisura en los AMM en función de las principales variables que intervienen en el proceso. El modelo considera que la abertura de fisura depende de la relación entre la carga actuante y la carga de rotura de la pieza (V/V_u).

A diferencia del modelo racional en el cual se obtienen las aberturas de fisura a la altura de las armaduras (w_{reinf}), este modelo determina directamente la abertura de fisura máxima generada en el borde de los AMM (w_{max}).

VII.3.1.1 Variables implicadas

No se incluye en la formulación empírica ni la presencia de hormigón con fibras ni de armadura secundaria, dado que el presente estudio no ha llegado a una conclusión clara acerca de su influencia en la abertura de fisura. Dicha influencia es muy dependiente en función de la tipología concreta del AMM. La utilización del modelo empírico en estos casos conduce a sobreestimaciones de la abertura de fisura.

Se hacen intervenir las principales variables que se ha observado influyen en la magnitud de la abertura de fisura. Dichos factores son la existencia del biselado del vértice, la importancia del esquema resistente diagonal, el sobredimensionamiento de alguna armadura en el esquema ortogonal y el nivel de pretensado.

El biselado del vértice se tendrá en cuenta con un coeficiente reductor k_b , de manera similar a como se indicó en el apartado VII.2.6 para el método racional. Dicho coeficiente adoptará un valor igual a la unidad en caso de que no exista bisel y un valor de 0.7³² en caso de que exista bisel.

La importancia del esquema resistente diagonal se tendrá en cuenta mediante el ratio de carga que se lleva el esquema ortogonal en rotura (x). Aunque podría hacerse intervenir en la formulación el reparto 'x' de carga en servicio determinado mediante la expresión (VII.22) desarrollada para el modelo racional, se opta para una mayor simplicidad del procedimiento emplear el reparto 'x' en rotura. Ambas alternativas dan lugar a resultados similares, pero con coeficientes de calibración distintos. Para considerar este efecto se define el siguiente término reductor:

³² El valor inicialmente propuesto de 0.7 coincide con el valor propuesto para el modelo racional.

$$\chi^{k_d} \quad (VII.29)$$

donde:

k_d parámetro a determinar en el proceso de calibración

El sobredimensionamiento de la armadura vertical o de la armadura horizontal se traduce en una descompensación de las deformaciones de los dos tirantes que origina una reducción global de las aberturas de fisura. Se define el siguiente término para establecer el ratio de sobredimensionamiento:

$$\chi = \min \left\{ \psi, \frac{1}{\psi} \right\} \quad (VII.30)$$

donde:

$$\psi = \left(\frac{\mu}{x} + \cotg \theta_{1A-4} \right) \frac{A_{s,V}}{A_{s,H}}$$

μ cociente entre la carga horizontal y la carga vertical en el apoyo

θ_{1A-4} ángulo de la biela que parte del apoyo calculado según apartado V.2.3

x ratio de carga soportado por el esquema ortogonal en rotura

El término χ toma un valor tanto menor a la unidad cuanto mayor sea el sobredimensionamiento de alguna de las armaduras ortogonales. El efecto reductor que este factor tiene en la abertura de fisura se considerará para una configuración de armado ortogonal mediante el siguiente término:

$$\chi^{k_o} \quad (VII.31)$$

donde:

k_o parámetro a determinar en el proceso de calibración

En caso de existir armadura diagonal la reducción anterior es proporcional al ratio de carga que se lleva el esquema ortogonal, por lo que el término reductor finalmente considerado será:

$$1 - x(1 - \chi^{k_o}) \quad (VII.32)$$

El efecto del pretensado se tendrá en cuenta a través de la carga de fisuración (V_{cr}), determinada según se describe en el Anejo E.

VII.3.1.2 Formulación general del modelo

La formulación derivada del método racional equivale de manera aproximada a un ajuste parabólico de la abertura de fisura en función de la carga actuante. En base a las observaciones experimentales de las aberturas de fisuras en función del nivel de carga (V/V_u) se puede concluir que, para el rango de aberturas de fisura válidas para el ELS de fisuración, un ajuste bilineal de la abertura de fisura en función del nivel de carga resultaría razonablemente aproximado.

El ajuste empírico tiene como variable principal el nivel de carga de las piezas (V/V_u) y se compone de un primer tramo de abertura de fisura nula ($V/V_u \leq k^*_{cr}$), cuya extensión es dependiente del

nivel de carga de fisuración de las piezas, seguido de un tramo lineal cuya pendiente viene definida por las distintas variables indicadas en el apartado VII.3.1.1. Se incorpora además un coeficiente de ajuste global (k_g). En consecuencia, la formulación general del modelo puede expresarse como sigue:

$$w = k_b \cdot x^{k_d} \left(1 - x(1 - x^{k_o})\right) k_g \left(\frac{V}{V_u} - k_{cr}^*\right) \geq 0 \quad (\text{VII.33})$$

donde:

$$k_{cr}^* = \frac{V_{cr}}{V_u} \quad \text{para piezas sin pretensado}$$

$$k_{cr}^* = \frac{V_{cr}}{V_u} \leq k_{cr} \frac{V_{cr}^*}{V_u} \quad \text{para piezas con pretensado}$$

V_{cr}^* carga de fisuración sin considerar el pretensado

V_{cr} carga de fisuración considerando el pretensado

La definición y el cálculo de V_{cr} y V_{cr}^* se muestra en el apartado VII.2.7. Los coeficientes k_b , k_d , k_o , k_g y k_{cr} que definen la ecuación (VII.33) se determinan a continuación en el proceso de calibración. El modelo no contempla la existencia de armaduras secundarias sobre el apoyo que puedan contribuir detrayendo parte de la carga sobre las armaduras principales.

VII.3.2 Calibración

La calibración del modelo y su aplicación posterior a datos de otros autores (apartado VII.4) se realiza tomando como dato la carga de rotura de las piezas (V_u). La posible aplicación del modelo con una estimación de la carga de rotura conservadora tenderá, en promedio, a dar estimaciones conservadoras de la abertura de fisura. El proceso de calibración se realiza tomando los mismos ensayos y bajo las mismas premisas previamente indicadas en el apartado VII.2.8.2 para la calibración de los modelos racionales.

Fruto de la calibración con los resultados de aberturas de fisura máximas en el borde de las piezas se obtienen los siguientes parámetros que definen el modelo empírico:

- Biselado del vértice: $k_b=0.7$
- Reducción por armadura diagonal (reparto 'x' de rotura): $k_d=0.35$
- Reducción por descompensación de la armadura ortogonal: $k_o=0.2$
- Coeficiente de ajuste global: $k_g=1.5$
- Limitación del efecto del pretensado en la carga de fisuración: $k_{cr}=2.5$

Los resultados del modelo empírico con los parámetros que se acaban de calibrar se muestran gráficamente en la Figura VII.13, mientras que los valores del coeficiente de determinación y de la pendiente para cada una de las series se muestran en la Tabla VII.4. Se discuten a continuación estos resultados.

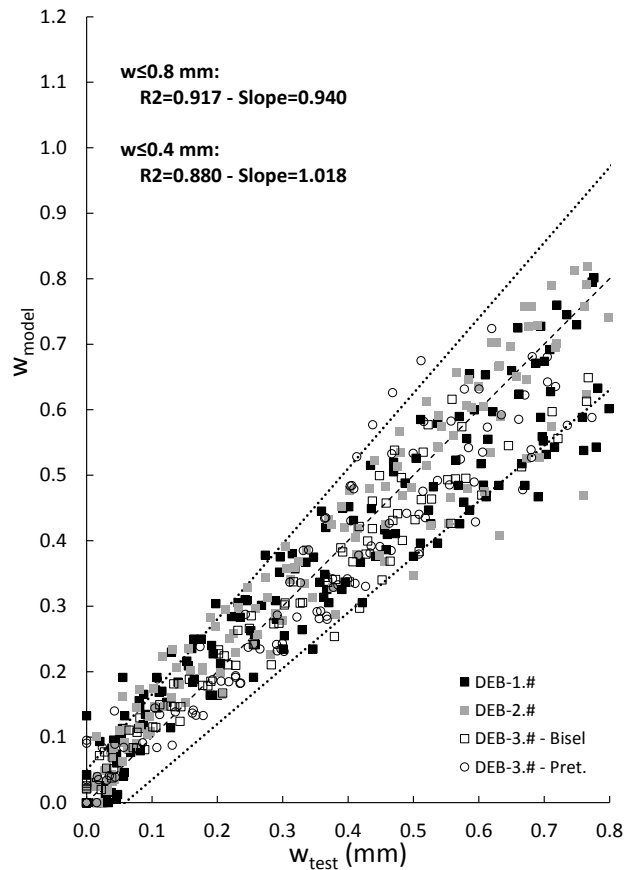


Figura VII.13: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo empírico: series DEB-1.#, DEB-2.# y DEB-3.#

Las tendencias de las distintas series y la dispersión observada son similares en todas las tipologías de AMM analizadas. El ajuste conseguido sobre los datos experimentales propios es más preciso que el obtenido mediante el modelo racional, siendo el coeficiente de determinación ($R^2_{0.8}=0.92$) similar al asociado a la propia dispersión del proceso ($R^2_{0.8}=0.92$). Para aberturas de fisura inferiores a 0.2 mm el modelo tiende a sobreestimar ligeramente las aberturas mientras que a partir de 0.6 mm las aberturas tienden a quedar infradimensionadas; esta observación es congruente con el ajuste bilineal propuesto. Pese a estas tendencias, la mayoría de las estimaciones quedan contenidas, para todo el rango de aberturas de fisura analizadas, en la envolvente de la dispersión entre ensayos gemelos determinada previamente en el apartado IV.5.1.2.

En comparación con el modelo racional, el modelo empírico funciona claramente mejor para aberturas de fisura superiores a 0.4 mm.

Tabla VII.4: Síntesis de resultados de aberturas de fisura. Modelo empírico

	DEB-1.#	DEB-2.#	DEB-3.# - Bisel	DEB-3.# - Pret.	TODAS
$R^2_{0.4}$	0.869	0.910	0.945	0.880	0.880
Pendiente _{0.4}	1.060	1.109	0.968	0.922	1.018
$R^2_{0.8}$	0.919	0.929	0.946	0.899	0.917
Pendiente _{0.8}	0.917	0.992	0.903	0.932	0.940

VII.4 Comparación de modelos propuestos y modelos de otros autores con datos propios y banco de datos de la bibliografía

En este apartado se aplican los dos modelos propuestos (racional y empírico) a aquellos ensayos de la bibliografía que dispongan de resultados de aberturas de fisura y que se encuentren dentro del rango de aplicabilidad de los modelos. En el caso del modelo racional se toma la hipótesis de deslizamiento en la fisura nulo, considerándose además los factores de contribución del hormigón en tracción así como de separación entre fisuras. Se emplean las deformaciones calculadas a partir del modelo de bielas y tirantes simplificado (véase apartado VII.2.4).

Tanto el modelo empírico como el modelo racional, en caso de emplear el método de cálculo de deformaciones indicado, resultan sólo de aplicación para piezas que dispongan tanto de armadura vertical como horizontal junto a la esquina de las piezas. En el caso de piezas con armadura secundaria u hormigón con fibras los modelos pueden conducir a resultados muy del lado de la seguridad. No se seleccionan para el contraste los ensayos asociados a todas estas tipologías.

Este apartado permite analizar el funcionamiento de las metodologías propuestas para resultados experimentales diferentes a los empleados para realizar su ajuste y comparar también su funcionamiento respecto a los dos modelos previos existentes en la bibliografía analizada.

VII.4.1 Modelo racional

Los resultados del modelo racional aplicado a los resultados de otros autores considerando la hipótesis de deslizamiento nulo en la fisura y los parámetros determinados en el apartado VII.2.8 se muestran en la Figura VII.14.b. Para facilitar la comparación con los resultados de otras metodologías, se repiten en la Figura VII.14.a los resultados del modelo para los datos propios empleados para el ajuste del modelo (inicialmente mostrados en la Figura VII.10.b). Los resultados de los principales parámetros estadísticos para cada estudio analizado se muestran en la Tabla VII.5.

La envolvente superior de la dispersión para los resultados de contraste se sitúa sensiblemente por encima de la envolvente de la dispersión propia del proceso (marcada como línea punteada), de manera más clara a como sucede con los resultados experimentales propios. Esta tendencia está influenciada por los resultados de los ensayos de Zhu et al. [53] que quedan sistemáticamente sobreestimados; cabe recordar que estos ensayos se corresponden con piezas de cuantía reducida en las que el hormigón en tracción puede tener una elevada influencia.

Los resultados globales (pendiente y coeficiente de determinación) para los datos de contraste hasta 0.8 mm son muy similares a los datos propios con los que se ajustó el modelo. Esta observación avala la robustez del modelo racional. La pendiente del ajuste para los datos de contraste es similar para los distintos intervalos de aberturas de fisura ($Pendiente_{0.8}=1.21$, $Pendiente_{0.4}=1.25$), a diferencia de los resultados para los datos propios ($Pendiente_{0.8}=1.04$, $Pendiente_{0.4}=1.27$). Este resultado se debe a la menor sobreestimación que se produce a partir de 0.4 mm en los datos de contraste respecto a los datos propios. Puede decirse, por tanto, que el modelo ha presentado un mejor funcionamiento para aberturas de fisura superiores a 0.4 mm para los datos de contraste que para los datos propios.

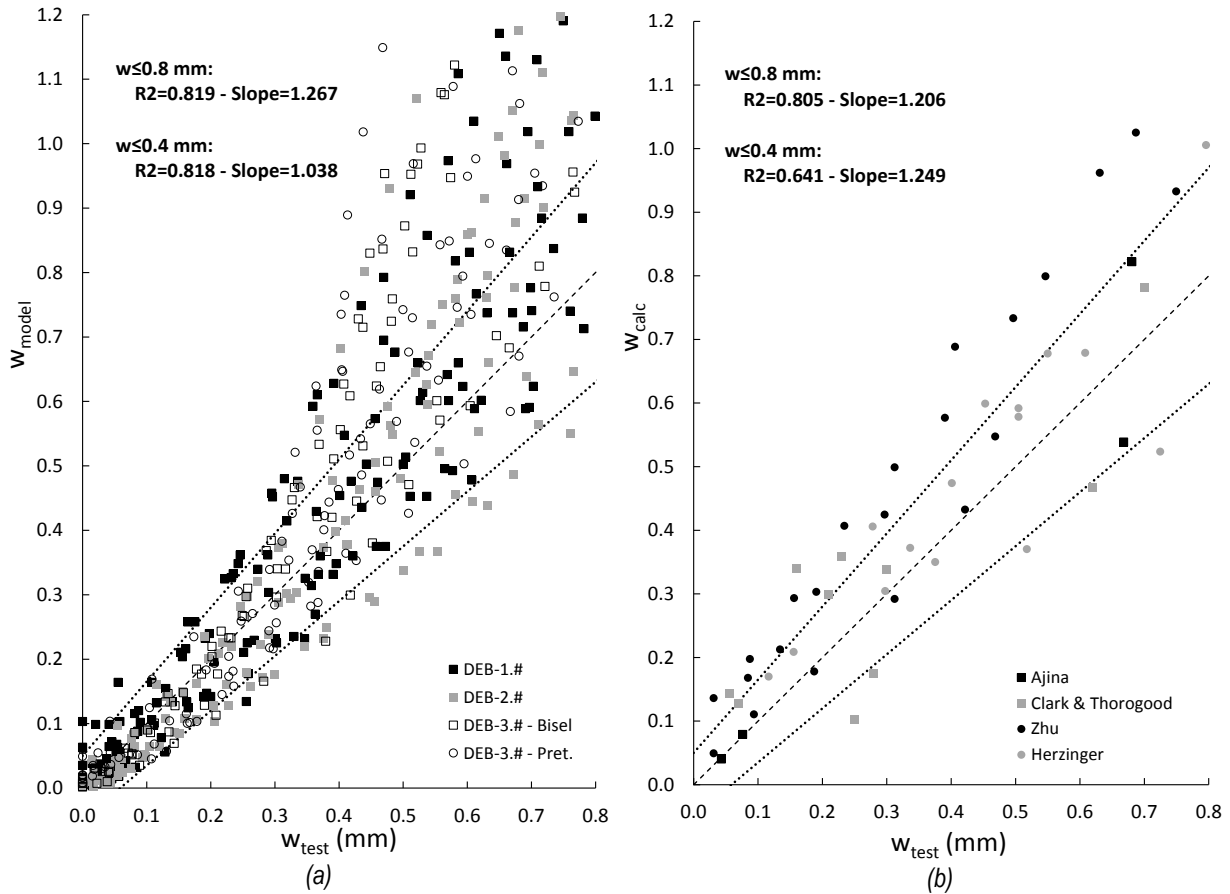


Figura VII.14: Modelo racional $\delta=0$: (a) Datos del estudio actual; (b) Datos de otros autores (Ajina [41], Clark & Thorogood [45], [46], Zhu et al. [53], Herzinger [4], [32])

La verificación de la metodología aplicada a piezas biseladas se puede realizar exclusivamente mediante las piezas del estudio de Clark y Thorogood [46]. Los resultados del modelo para las piezas de este estudio presentan una muy elevada dispersión. Este mal ajuste se repite para el resto de modelos a los que se aplica, incluso el desarrollado por los propios autores (véase apartado VII.4.4), y puede estar influenciado por la información poco precisa en los ensayos. La pendiente del ajuste se sitúa en el entorno de la unidad en los dos rangos de aberturas de fisura considerados ($Pendiente_{0.4}=1.09$; $Pendiente_{0.8}=0.99$); este resultado podría avalar la idoneidad del coeficiente k_b propuesto. Éste mismo razonamiento respecto al coeficiente k_b es extensible al modelo empírico que se expondrá en el siguiente apartado.

Tabla VII.5: Contraste de modelos de aberturas de fisura. Modelo racional

	Ajina [41]	Clark & Thorogood [45], [46]	Zhu [53]	Herzinger [4], [32]	Datos contraste	Estudio actual
$R^2_{0.4}$	1.000	0.145	0.828	0.748	0.641	0.818
$Pendiente_{0.4}$	1.015	1.087	1.441	1.120	1.250	1.038
$R^2_{0.8}$	0.914	0.707	0.935	0.752	0.805	0.819
$Pendiente_{0.8}$	1.011	0.995	1.433	1.085	1.206	1.267

Cabe destacar que en los resultados experimentales de otros autores existe cierta indeterminación acerca de la posición en que están tomadas las medidas de la abertura de fisura. Esta indeterminación se traduce también en una indeterminación en los resultados de aberturas de fisura, dado que se ha observado (véase apartado IV.5.1.1) una fuerte variación de la abertura de fisura respecto a la posición de medida. Se ha empleado la relación (IV.1) para convertir resultados de aberturas de fisura máximas en aberturas de fisuras a la altura de las armaduras.

VII.4.2 Modelo empírico

El empleo del modelo empírico con los coeficientes propuestos en el apartado VII.3.2 conduce para los datos de otros autores a los resultados mostrados en la Figura VII.15.b, cuyos principales parámetros estadísticos se muestran en la Tabla VII.6. Tal y como se realizó para el modelo racional, en la Figura VII.15.a se repiten los resultados del modelo para los datos de calibración (previamente mostrados en la Figura VII.13).

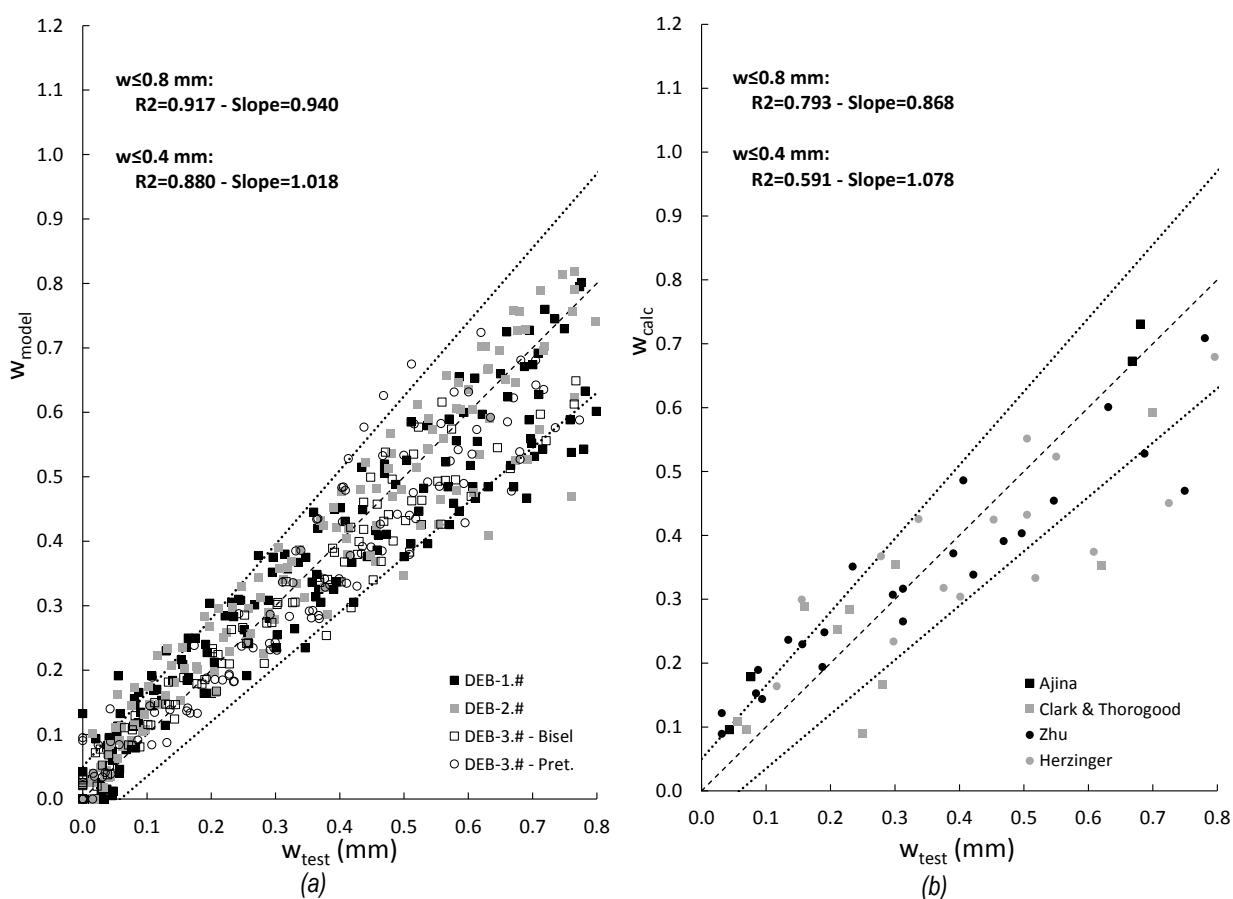


Figura VII.15: Modelo empírico: (a) Datos del estudio actual; (b) Datos de otros autores (Ajina [41], Clark & Thorogood [45], [46], Zhu et al. [53], Herzinger [4], [32])

En los resultados con el modelo empírico para los datos de contraste (Figura VII.15.b), un mayor número de determinaciones caen dentro de la envolvente de dispersión propia del proceso, en comparación con el modelo racional (Figura VII.14.b). No obstante, en el modelo racional los resultados tienden a quedar más del lado de la seguridad. La apreciación realizada en el apartado VII.3.2 de que el

modelo empírico tiende a sobreestimar las aberturas de fisura inferiores a 0.2 mm e infraestimar las superiores a 0.6 mm se aprecia también con claridad para los datos de contraste.

A diferencia de lo que sucedía para el modelo racional, en el modelo empírico el coeficiente de determinación para los datos propios empleados en la calibración del modelo ($R^2_{0.8}=0.92$; $R^2_{0.4}=0.88$) es muy inferior al obtenido para los datos de contraste ($R^2_{0.8}=0.79$; $R^2_{0.4}=0.59$). Se concluye que el modelo empírico cuenta es menos robusto que el modelo racional. No obstante, la dispersión de ambos modelos para los datos de contraste es similar.

Tabla VII.6: Contraste de modelos de aberturas de fisura. Modelo empírico

	Ajina [41]	Clark & Thorolgood [45], [46]	Zhu [53]	Herzinger [4], [32]	Datos contraste	Estudio actual
$R^2_{0.4}$	1.000	0.261	0.831	0.395	0.591	0.880
Pendiente$_{0.4}$	2.313	0.976	1.113	1.092	1.078	1.018
$R^2_{0.8}$	0.992	0.663	0.885	0.608	0.793	0.917
Pendiente$_{0.8}$	1.052	0.798	0.879	0.835	0.869	0.940

Después de verificar y comparar los dos modelos propuestos para el cálculo de aberturas de fisura se analizan los dos modelos encontrados en la bibliografía.

VII.4.3 Modelo CASTM

El '*Compatibility-aided strut-and-tie model*' (CASTM) propuesto por Zhu et al. [53] para la determinación de aberturas de fisura en AMM ha sido detallado en el apartado II.3.2. Tal y como se indicó en dicho apartado, no se especifica con claridad si el modelo CASTM predice las aberturas de fisura máximas (w_{max}) o a la altura de las armaduras (w_{reinf}); no obstante, en base a las características del estudio se llegó a la conclusión de que parece más adecuado considerar que se trata de las aberturas a la altura de las armaduras. Se emplea la relación (IV.1) para poder comparar los resultados experimentales de aberturas de fisura máximas con las estimaciones de CASTM.

Este procedimiento no contempla la existencia de carga horizontal en el apoyo, el biselado del vértice, el pretensado de alguna armadura ni la existencia de armaduras secundarias u hormigón con fibras. Resulta por tanto sólo aplicable a un reducido número de ensayos disponibles: las series DEB-1.# y DEB-2.# del presente estudio, los propios ensayos del estudio de Zhu et al. [53] y dos ensayos sin fibras del estudio de Ajina [41].

El modelo propone un procedimiento para la determinación de las deformaciones que es dependiente de la inclinación de la biela que parte del apoyo, pero no indica ningún criterio para establecerla. Para aplicar el modelo se determina la inclinación de la biela a partir de la geometría dada por el modelo de bielas y tirantes simplificado planteado en el apartado V.2. Los resultados con esta hipótesis se muestran en la Figura VII.16.

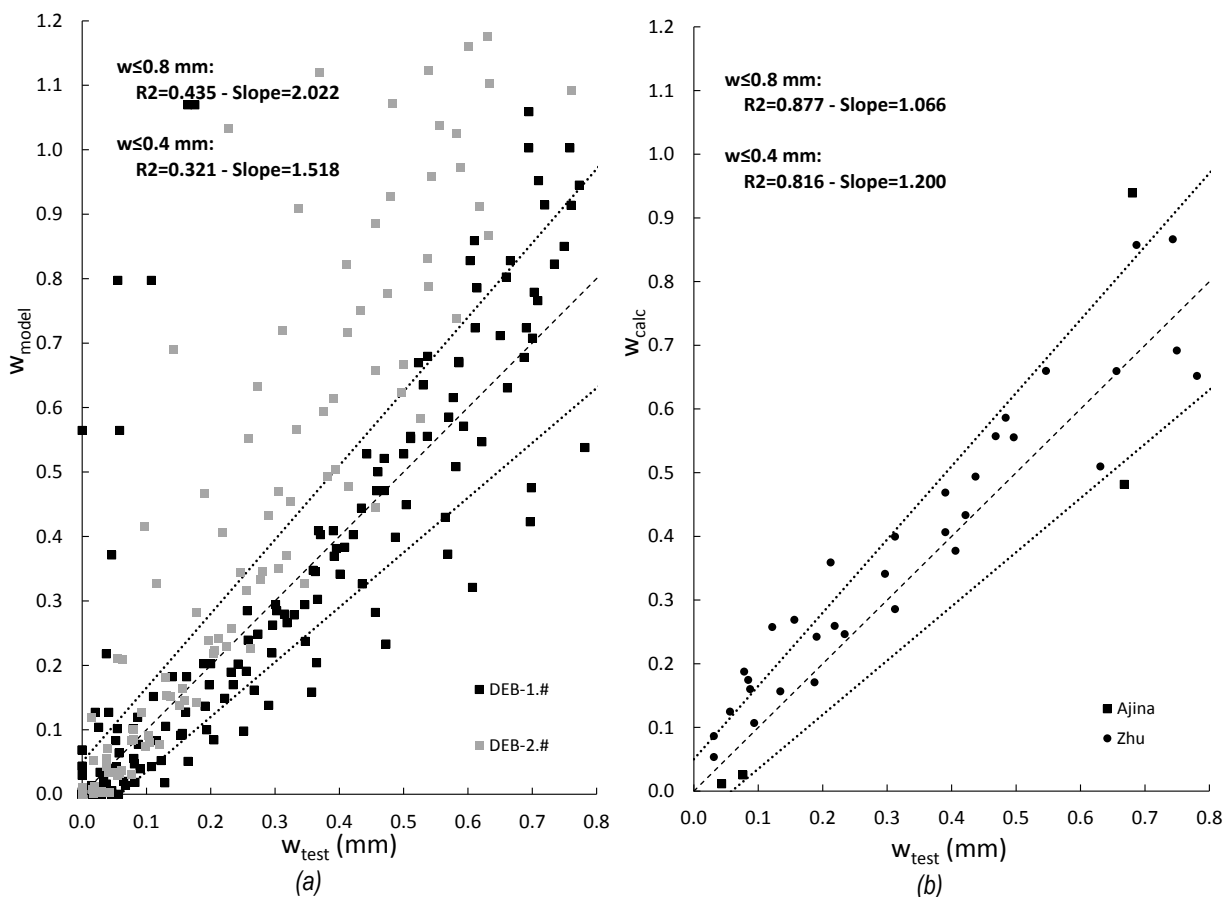


Figura VII.16: Resultados de aberturas de fisura. Modelo CASTM [53]: (a) Resultados del estudio actual; (b) Resultados de Zhu et al. [53] y Ajina [41]

El modelo CASTM funciona muy bien para los ensayos para los que fue calibrado (Zhu et al. [53]). Para estos ensayos los resultados de CASTM son más precisos a los obtenidos con el método racional ($R^2_{0.8}=0.93$; Pendiente $_{0.8}=1.43$) o el método empírico ($R^2_{0.8}=0.88$; Pendiente $_{0.8}=0.88$), pero al aplicarse a otros ensayos para los que no ha sido calibrado el modelo no funciona adecuadamente.

Tabla VII.7: Resultados de aberturas de fisura. Modelo CASTM

	Ajina [41]	Zhu [53]	Otros autores	Estudio actual
$R^2_{0.4}$	1.000	0.830	0.816	0.321
Pendiente $_{0.4}$	0.318	1.208	1.200	1.518
$R^2_{0.8}$	0.831	0.909	0.877	0.435
Pendiente $_{0.8}$	1.050	1.069	1.066	2.022

Los factores que podrían justificar el peor funcionamiento del modelo CASTM, son los siguientes:

- El reparto de carga propuesto por el modelo no se ajusta a los resultados experimentales. Dicho reparto supone una contribución en servicio de la armadura diagonal inferior a la real. Consecuentemente tanto las deformaciones de las armaduras ortogonales como las aberturas de fisura quedan sobreestimadas en las piezas con

armadura diagonal (véase resultados sobreestimados en la Figura VII.16.a de la serie DEB-2.# correspondiente a piezas con armaduras diagonales).

- El modelo de cálculo de las deformaciones supone que para el esquema resistente ortogonal toda la carga en servicio es soportada por la armadura A_{sv} . Esta hipótesis queda del lado de la seguridad y para algunas configuraciones da lugar a sobreestimaciones muy elevadas de la abertura de fisura.
- La hipótesis propuesta de combinar vectorialmente las deformaciones de las armaduras ortogonales para obtener una deformación diagonal puede ser menos precisa que la combinación vectorial de las aberturas de fisura en la dirección de las armaduras propuesta en el modelo racional (especialmente para configuraciones en las que la fisura no se disponga a 45°). Además, al combinar deformaciones no es posible considerar diferentes valores de la tensión de adherencia para las distintas armaduras.

VII.4.4 Modelo Clark y Thorogood

El segundo y último modelo para el cálculo de aberturas de fisura encontrado en la bibliografía es el de Clark y Thorogood [46], detallado previamente en el apartado II.3.1. Dicho modelo propone calcular la abertura de fisura en piezas con bisel como el producto de una deformación máxima en dirección perpendicular a la fisura, calculada en base a un modelo elástico lineal propuesto, por una determinada longitud. Esta longitud se toma como la mínima entre unas longitudes especificadas para fisuración concentrada en el bisel o distribuida. Para su aplicación a piezas sin bisel se supone que la longitud 'y' definida para fisuración concentrada es el doble a la indicada en el modelo para las piezas con bisel (véase Figura II.30.a).

Para las dimensiones de piezas analizadas la condición limitante suele ser la de fisuración distribuida; en estos casos la longitud que multiplica a la deformación perpendicular a la fisura queda como tres veces la distancia sobre la fisura desde su arranque hasta la barra más cercana (II.8). Puede concluirse que para piezas de escala real, el modelo considera que la abertura de fisura aumenta linealmente con el recubrimiento de las armaduras.

Por la descripción del modelo se considera que éste predice aberturas de fisura máximas (w_{max}). Por consiguiente, se emplea la relación (IV.1) para poder comparar los resultados experimentales de aberturas de fisura a la altura de las armaduras con las estimaciones del modelo de Clark y Thorogood. En la Figura VII.17.a se muestran las estimaciones del modelo para los ensayos del presente estudio, mientras que en la Figura VII.17.b se muestran las estimaciones para ensayos de otros autores. La síntesis de parámetros estadísticos se muestra en la Tabla VII.8.

No ha sido posible reproducir con los resultados del modelo sobre los datos experimentales propios de Clark y Thorogood [45], [46] mostrados en dicho estudio. Esto se debe a que en dicho estudio no hay datos sobre los recubrimientos de las armaduras. Las estimaciones realizadas sobre estos ensayos dan lugar a unos resultados menos precisos que los expuestos en el estudio original.

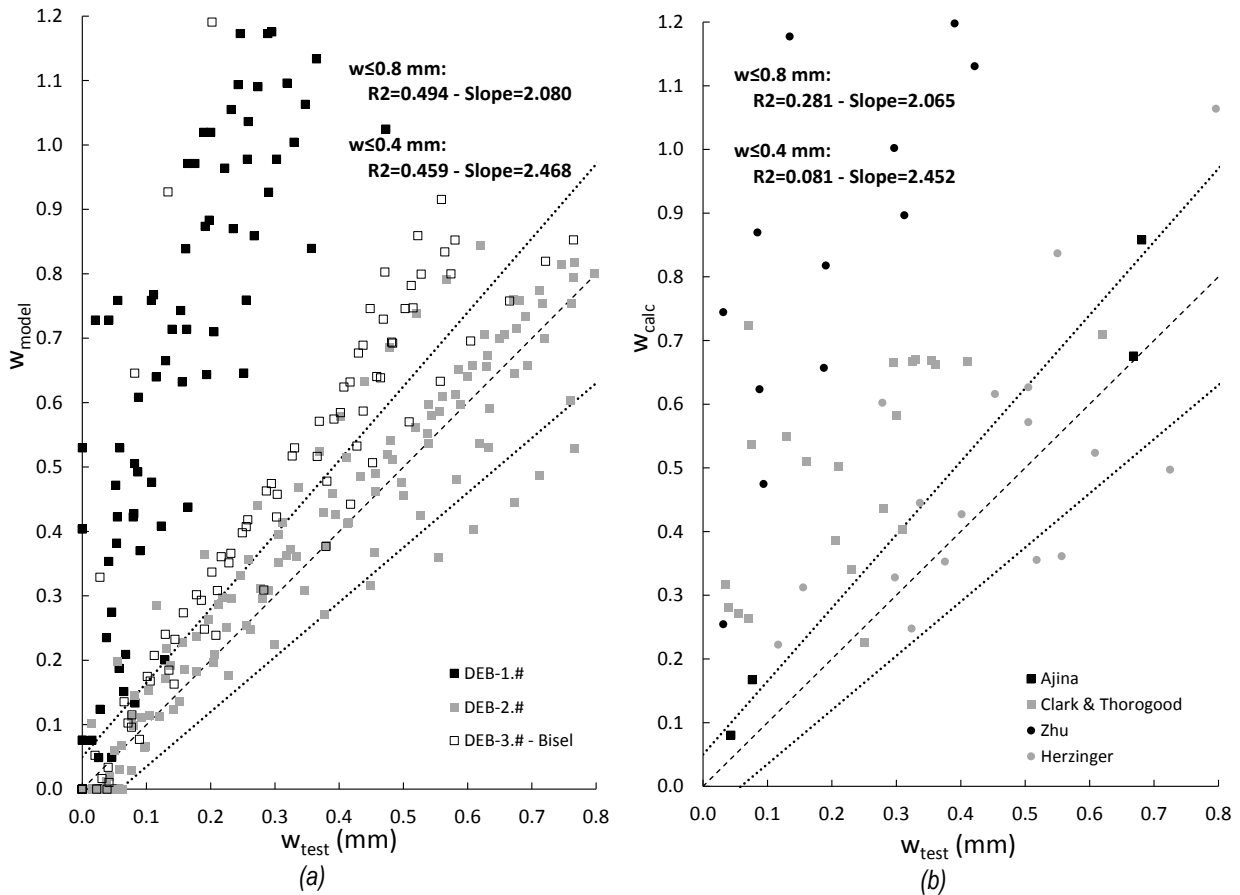


Figura VII.17: Resultados de aberturas de fisura. Modelo Clark y Thorolgood [45], [46]: (a) Ensayos del presente estudio; (b) Ensayos de otros autores (Ajina [41], Clark & Thorogood [45], [46], Zhu et al. [53], Herzinger [4], [32])

Por lo que respecta a su aplicación a otros estudios, en las piezas de mayores dimensiones (Zhu [53]) se observa que las estimaciones son, en promedio, casi 4 veces superiores a las experimentales. Esta observación permite inferir que la dependencia lineal de la abertura de fisura con el valor del recubrimiento puede no ser adecuada.

Tabla VII.8: Resultados de aberturas de fisura. Modelo Clark y Thorolgood

	Ajina [41]	Clark & Thorolgood [45], [46]	Zhu [53]	Herzinger [4], [32]	Datos contraste	Estudio actual
$R^2_{0.4}$	1.000	0.244	0.401	0.125	0.081	0.459
Pendiente _{0.4}	2.113	1.979	4.349	1.248	2.452	2.468
$R^2_{0.8}$	0.964	0.534	0.727	0.450	0.281	0.494
Pendiente _{0.8}	1.146	1.924	3.380	1.073	2.065	2.080

Analizando los resultados del modelo para los ensayos del presente estudio (Figura VII.17.a), se observa que ciertos ensayos son captados razonablemente bien por el modelo, pero en otros las estimaciones son muy superiores a las medidas experimentales. En la Tabla VII.9 se muestran los parámetros estadísticos principales para las distintas series. Los resultados de las piezas sin armadura diagonal (serie DEB-1.#), correspondientes al mayor valor del recubrimiento en diagonal, dan unas aberturas de fisura excesivas (Pendiente_{0.8}=3.78), no obstante, la dispersión es muy reducida

($R^2_{0.8}=0.89$). En el caso de las piezas con armadura diagonal (serie DEB-2.#) la dispersión es igualmente muy reducida, pero en este caso la pendiente de la estimación es adecuada ($Pendiente_{0.8}=1.14$). En dicha serie de piezas la presencia de las armaduras diagonales hace que el recubrimiento en diagonal sea inferior. Para las piezas con bisel hay una combinación de configuraciones con y sin armadura diagonal; la dispersión de cada uno de estos grupos es reducida pero al ser sus pendientes distintas el coeficiente de determinación del conjunto es muy bajo ($R^2_{0.8}=0.45$).

Tabla VII.9: Resultados de aberturas de fisura para el estudio actual. Modelo Clark y Thorolgood

	DEB-1.#	DEB-2.#	DEB-3.# - Bisel	TODAS
$R^2_{0.4}$	0.824	0.873	0.385	0.459
$Pendiente_{0.4}$	3.784	1.145	2.068	2.468
$R^2_{0.8}$	0.894	0.899	0.455	0.494
$Pendiente_{0.8}$	3.077	1.028	1.952	2.080

En base a estos resultados puede concluirse que las aberturas de fisura experimentales guardan una relación bastante lineal con las deformaciones máximas perpendiculares a la fisura determinadas por el modelo de Clark y Thorogood [45], [46], no obstante, el término de longitud propuesto para transformar dichas deformaciones en aberturas de fisura no da resultados consistentes para distintas geometrías y valores de recubrimientos de AMM.

VII.5 Propuesta de sobredimensionamiento de la armadura calculada en ELU para la verificación del ELS fisuración

En el presente apartado se pretende obtener un ratio de sobredimensionamiento de las armaduras principales de los AMM calculadas en ELU ($A_{s,ULS}$), de forma que se garantice el cumplimiento de una determinada abertura de fisura (w_d). Esta formulación se desarrolla con la finalidad de dotar de una sencilla herramienta de predimensionamiento en ELS para AMM.

Se toma como base el modelo empírico obtenido anteriormente (véase apartado VII.3) sintetizado en la siguiente expresión:

$$w_d = f\left(\frac{V}{V_u}\right) \rightarrow \frac{V}{V_u} = f^{-1}(w_d) = \frac{w_d}{k_b \cdot x^{k_d} \cdot (1 - x(1 - \chi^{k_o}))} \cdot k_g + k_{cr}^* \quad (\text{VII.34})$$

Se presupone que se parte de un diseño de AMM en ELU en el que el dimensionamiento viene condicionado por el acero y no por la rotura del hormigón. Bajo estas condiciones, en el entorno de la carga de rotura, es bastante aproximado considerar una relación lineal entre carga y área de las armaduras principales, pudiéndose establecer las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
 V_{d,SLS} &= r_s \cdot V_{d,ULS} = r_s \cdot K \cdot \frac{A_{s,ULS}}{\gamma_s} \\
 V_u &= K \cdot A_{s,SLS} \\
 \frac{V_{d,SLS}}{V_u} &= \frac{r_s}{\gamma_s} \cdot \frac{A_{s,ULS}}{A_{s,SLS}}
 \end{aligned}
 \tag{VII.35}$$

donde:

- $V_{d,ULS}$ carga de diseño en rotura de las piezas
- V_u carga de rotura de las piezas
- γ_s cociente entre el lím. elástico real del acero y la resistencia de cálculo para ELU
- $A_{s,SLS}$ área de armadura necesaria según diseño ELS fisuración
- $A_{s,ULS}$ área de armadura necesaria según diseño ELU
- r_s cociente entre cargas de diseño en ELS ($V_{d,SLS}$) y ELU ($V_{d,ULS}$)

El cociente r_s/γ_s depende del tipo de estructura³³ y del coeficiente de seguridad prescrito por la normativa, con un rango habitual de entre 0.4 y 0.6, tal y como se indicó previamente en el apartado IV.5.1. En base a las expresiones contenidas en (VII.35), y particularizando la expresión (VII.34) para la carga de diseño en ELS ($V_{d,SLS}$), es posible obtener la siguiente relación:

$$\frac{A_{s,SLS}}{A_{s,ULS}} = \frac{r_s}{\gamma_s} \cdot \frac{1}{f^{-1}(w_d)}
 \tag{VII.36}$$

Conocido el ratio r_s/γ_s la expresión (VII.36) permite obtener el sobredimensionamiento a aplicar a la armadura determinada en rotura ($A_{s,ULS}$) para cumplir una determinada abertura de fisura de diseño en servicio (w_d). La expresión (VII.36) se reescribe a continuación incluyendo la formulación detallada del modelo empírico (véase apartado VII.3):

$$\frac{A_{s,SLS}}{A_{s,ULS}} = \frac{r_s}{\gamma_s} \cdot \frac{k_b \cdot x^{k_d} \cdot (1 - x(1 - \chi^{k_o})) \cdot k_g}{w_d + k_b \cdot x^{k_d} \cdot (1 - x(1 - \chi^{k_o})) \cdot k_g \cdot k_{cr}^*}
 \tag{VII.37}$$

Valores inferiores a la unidad del sobredimensionamiento indicarían que el diseño está condicionado por la rotura.

La aplicación de esta formulación permite dar una idea de la importancia del fenómeno de fisuración en AMM y establecer qué variables son más efectivas para el control de la misma. En la Figura VII.18.a se muestra el ratio de sobredimensionamiento en piezas con armadura ortogonal, sin

³³ Para estructuras con una mayor importancia de las cargas variables (condiciones habituales de edificación) el ratio r_s/γ_s se encontrará en el rango inferior del intervalo especificado, dando lugar a las condiciones menos desfavorables posibles respecto a la fisuración. En el caso de puentes con una elevada importancia de las cargas permanentes el ratio r_s/γ_s puede ser cercano al límite superior, dando lugar a unas condiciones muy desfavorables para la fisuración en los AMM.

bisel ni pretensado, para una configuración con diseño equilibrado de los tirantes ($x=1.0 / \chi=1.0$) y para una configuración en que uno de los dos tirantes se sobredimensionen un 40% ($x=1.0 / \chi=0.6$), considerando dos valores del cociente r_s/γ_s : 0.4 y 0.6. Además de la abertura de fisura, el cociente r_s/γ_s tiene una elevada influencia en el proceso; dependiendo de éste, el sobredimensionamiento de la armadura diseñada en ELU necesaria para verificar una abertura de fisura de 0.3 mm es de entre el 25% y el 100%, y de entre un 150% y un 250% en el caso de tener que verificarse una abertura de 0.1 mm. En comparación con la abertura de fisura y el cociente r_s/γ_s , el sobredimensionamiento de una de las armaduras ortogonales influye muy poco en el proceso.

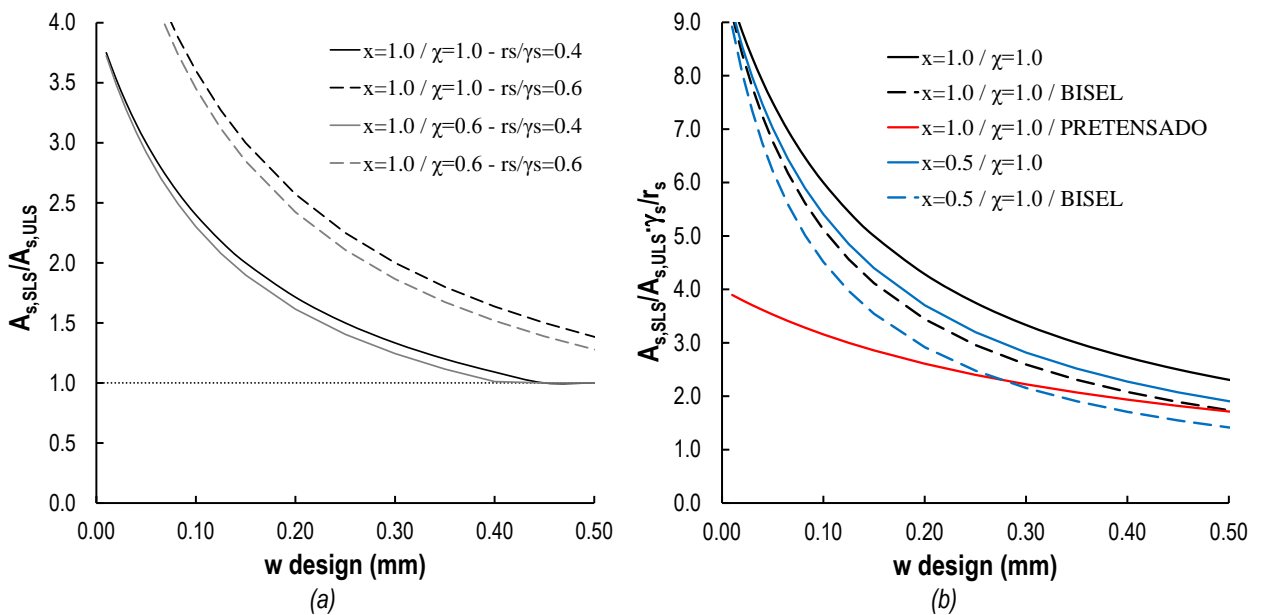


Figura VII.18³⁴: (a) ratio de sobredimensionamiento –influencia de configuración de armado y cociente r_s/γ_s ; (b) ratio de sobredimensionamiento adimensionalizado –influencia de bisel, pretensado y armadura diagonal–

Para analizar la influencia de otros factores implicados en el proceso se representa en la Figura VII.18.b el ratio de sobredimensionamiento dividido entre el cociente r_s/γ_s en función de la abertura de fisura de diseño (w_d). Se representan piezas con un diseño ortogonal equilibrado ($x=1.0 / \chi=1.0$), a las que se aplica la mejora de disponer bisel o pretensado (al nivel máximo contemplado en el presente estudio), así como piezas con armadura diagonal equilibrada con la ortogonal ($x=0.5 / \chi=1.0$) y armadura diagonal más bisel. La mejora inducida por el bisel equivale a la inducida por la disposición de armadura diagonal (con una importancia equivalente a la de la de la armadura ortogonal). El pretensado es más efectivo que las mejoras anteriores especialmente para aberturas de diseño restrictivas (inferiores a 0.3 mm). El bisel y la disposición de armadura diagonal tienen un efecto aditivo.

Como conclusión de estas observaciones se aconseja como criterio de diseño general disponer de armadura diagonal y bisel para facilitar el cumplimiento de la abertura de fisura en los AMM.

³⁴ Para las determinaciones existentes en la Figura VII.18 se ha considerado que la carga de fisuración es el 10% de la carga última para las piezas sin pretensado y del 25% para las piezas con pretensado. Estos valores son valores medios obtenidos en la campaña experimental, que deben particularizarse mediante la formulación propuesta.

Por otra parte, el sobredimensionamiento propuesto de la armadura calculada por ELU para verificar el ELS de fisuración equivale a disminuir la tensión de cálculo admisible del acero en ELU ($\sigma_{s,calc}$) por debajo de la tensión de diseño habitual en ELU (f_{yd}), resultando:

$$\frac{1}{\frac{A_{s,SLS}}{A_{s,ULS}}} = \frac{\sigma_{s,calc}}{f_{yd}} \leq 1 \quad (\text{VII.38})$$

donde:

$\sigma_{s,calc}$ tensión de cálculo del acero a emplear en ELU para verificar ELS fisuración

f_{yd} resistencia de cálculo del acero

En la Figura VII.19 se representa la tensión de cálculo del acero a emplear en ELU para verificar el ELS fisuración en función de la abertura de fisura objetivo, determinada a partir de la formulación planteada en la ecuación (VII.37). A modo orientativo se muestran los resultados para dos configuraciones de características convencionales: con armadura ortogonal ($x=1.0$) y con armadura diagonal y ortogonal equilibradas ($x=0.5$), considerando que la resistencia de cálculo del acero es 435 MPa, el límite elástico real del acero 550 MPa y el ratio r_s es 0.6.

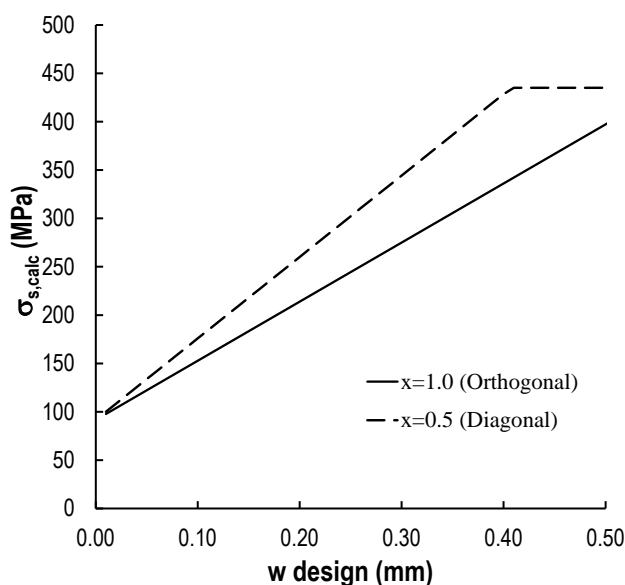


Figura VII.19: Tensión de diseño en ELU necesaria para la verificación de ELS fisuración

Se observa una alta dependencia de la tensión a considerar en función de la abertura de fisura a verificar. La restricción contemplada en la EHE-08 [2], la cual establece un límite en la tensión de cálculo del acero de 400 MPa para regiones de discontinuidad, no garantiza en todos los casos la verificación del ELS en AMM.

Como conclusión, dada la singularidad de la fisuración en los AMM se recomienda el empleo de las metodologías desarrolladas en el presente estudio para comprobar la verificación del ELS de fisuración en estos elementos.

Capítulo VIII

Synthesis, conclusions and future work

VIII.1 Summary

The state of the art of dapped-end-beams (DEB) has been analysed in Capítulo II. It includes design methodologies, code's recommendations and experimental work related to DEBs. Although two methodologies for calculating crack widths in DEBs were found in the literature, they had not been sufficiently verified.

Capítulo III described the details of the experimental tests carried out on 60 dapped-ends, corresponding to 30 different replicated configurations. Beam span length is 3.00 m with a rectangular 25x60 cm cross-section, reduced to 25x30 cm on the reaction joints. Digital image correlation was used for continuous measurement of crack widths. The obtained results have been presented in Capítulo IV. The influence of different factors on the failure and serviceability behaviour has been also assessed: reinforcement amount, reinforcement layout and some constructive variations (the disposition of a bevel in the re-entrant corner, the use of unbonded post-tensioned rebars for the horizontal tie, the use of steel fibre reinforced concrete and the disposition of secondary reinforcement over the support).

For the main DEB configurations strut-and-tie models designed based on the experimental results are presented in Capítulo V. Based on the analyses of these models a simplified procedure for defining the geometry of strut-and-tie models for DEBs has been proposed. Despite their simplicity, the strengths of these strut-and-tie models showed a good correlation with the experimental results for the tests of this study and other 29 specimens from the literature.

The applicability of elasto-plastic stress field models for the analysis of DEBs has been investigated in Capítulo VI. Existing concrete constitutive laws have been adjusted to consider spalling failures and steel fibre reinforced concrete behaviour. This approach is used for analysing the specimens of this study and 44 DEB tests from the literature. Strength predictions are accurate for the different geometric and material characteristics treated. Reinforcement strain results and load distribution between the different resistant mechanisms are well predicted for ultimate and service loads. The applicability of

elasto-plastic stress fields for the analysis of steel fibre reinforced concrete has been also investigated; to do this, a set of 9 steel fibre reinforced concrete beams without transversal reinforcement failing in shear was analysed.

Finally, Capítulo VII presented two different models for obtaining crack widths in the re-entrant corner under service loads: a rational and an empirical model. The rational model uses the integration of reinforcement strains near the crack to calculate the crack width. In this model two hypothesis have been discussed: considering or not crack slip. Moreover, some procedures have been proposed to take into account the following aspects: the contribution of concrete tensile strength, the influence of cracks near the re-entrant corner and the effect of disposing a bevel in the re-entrant corner. A linear model to calculate reinforcement strains, based on the previously proposed simplified strut-and-tie models, has been developed. This model is of interest for the application of the rational model without a computer-aided tool. . Strains obtained by elasto-plastic stress fields have been also used for feeding the rational model. The different parameters of the model have been defined based on the experimental data of this study. The model has been also validated with experimental data from four other studies of the literature. Crack width predictions are accurate up to 0.6 mm. Accuracy is similar for the data of the different studies. The model developed for non-computer-aided calculation of strains leads to accurate results up to crack widths of 0.4 mm; for higher crack widths estimations are conservative.

In the empirical model proposed, the crack width depends on the ratio of the applied load to the ultimate load of the DEB, in addition to the following factors: the presence of a bevel in the re-entrant corner, the relative contribution of the diagonal mechanism, the prestress level and the over-reinforcement ratio of one of the ties in the orthogonal mechanism. This model is more accurate than the rational model for the results of this study. Nevertheless, the empirical model is less robust than the rational for other DEB specimens. Both models have been compared to two other models from the literature.

The conclusions of this work and some suggestions for future work are summarized in the following sections.

VIII.2 Conclusions

Based on the experimental results from dapped-end beam (DEB) tests the following conclusions can be drawn. For the serviceability behaviour:

- Digital image correlation has been successfully used for continuous measurement of crack widths.
- DEBs are prone to develop horizontal cracking over the horizontal reinforcement. Hence, poor bond conditions between concrete and reinforcement arise at this tie.
- Crack widths under service load levels are usually larger than 0.3 mm if the reinforcement is designed for Ultimate Limit State (ULS) conditions; if the horizontal reinforcement is post-tensioned or if a bevel is set in the re-entrant corner, crack widths can be smaller than 0.3

mm. Hence, for most cases serviceability state should determine reinforcement design. Therefore, reinforcement designed for ULS should be increased.

- For a certain load value crack width decreases if reinforcement is increased. However, if comparison is done in terms of relative values of the maximum load, crack widths are similar regardless of reinforcement ratio.
- Crack width is reduced if one of the orthogonal ties is over-reinforced. A 20% reduction of the crack width is obtained with a 67% over-reinforcement of the vertical tie. Over-reinforcement of the horizontal tie is more effective than the over-reinforcement of the vertical tie.
- Diagonal reinforcement is more efficient than orthogonal reinforcement for crack width control. Relative strength contribution of the diagonal mechanism is higher at service loads than at failure loads. For configurations with diagonal reinforcement, relative strength contribution of the orthogonal mechanism before yielding is between 25% and 40% lower than its contribution at failure loads.
- Crack width is reduced if diagonal reinforcement is used. The reduction is higher if the contribution of the diagonal reinforcement is increased. Crack width at the serviceability load level is between 20% and 40% smaller if between 40% and 80% of the orthogonal resistant mechanism is replaced by diagonal reinforcement.
- Crack width is reduced around 30% if a bevel is disposed in the re-entrant corner of the DEB. The geometry of the bevel has to be determined in order to lead to the formation of two cracks in the re-entrant corner. Otherwise, if the bevel generates only one crack, the crack width is increased.
- The use of unbonded post-tensioned rebars for the horizontal tie of DEBs leads to an important reduction of the crack width at the serviceability load level. The principal crack at the re-entrant corner orientates horizontally in these cases.
- For the unbonded post-tensioned DEBs, if the tension stress remains constant and the area of the post-tensioned rebar is increased, no reduction of the crack width is produced.
- For a certain load value crack width is reduced up to a 40% if steel fiber reinforced concrete with 100 kg of fibres/m³ is used. However, if comparison is done in terms of relative values of the maximum load, crack widths are not affected by the amount of steel fibres. The use of steel fiber reinforced concrete increases the maximum load in DEBs and hence, the serviceability load level.

For the ultimate behaviour:

- The failure of DEB takes place after the yielding of some tie. Nevertheless, the strength of some elements is limited by spalling of the top concrete cover. Therefore, in some cases a certain increment of reinforcement could lead to a much lower rise of the DEB strength.

- It is recommended to distribute the hanger reinforcement in several stirrups. This disposition reduces the occurrence of spalling failures and does not have a significant effect on the crack width.
- The use of steel fiber reinforced concrete prevent spalling failure mechanisms. Moreover, it significantly increases ductility. The strength of DEBs also increases between 7% and 17% depending on the amount of fibers (40~100 kg/m³).
- A 40% reduction in the strength of the horizontal tie leads to a lower reduction in the strength of the DEB (29%). A 60% reduction in the strength of the vertical tie leads to a much lower reduction in the strength of the DEB (34%); in this case the contribution of the beam transversal reinforcement is activated.

The analyses with strut-and-tie models (STM) and elasto-plastic stress fields models (EPSF) lead to the following conclusions:

- In the STM proposed based on the experimental results failure takes place with yielding of the horizontal and diagonal reinforcement and reaching the maximum strength of the nodal zone at the top of the hanger reinforcement. Hanger reinforcement also yields for some reinforcement layouts. The strut generated from the top of the hanger reinforcement towards the center of the beam is quasi-horizontal in all cases.
- The geometry of STM for DEBs can be defined based on a checking procedure of the nodal area at the top of the hanger reinforcement. This procedure leads to STM whose results show a good correlation with the experimental strengths for tests of this study and 4 other studies. Results show that the strength of the diagonal strut over the support (from 0.4 to 0.6 fcm) does not have a significant influence in the strength of the model.
- EPSF models are able to safely predict DEB failure modes. Spalling failures can be accurately predicted if the fracture energy is introduced in the concrete cover. An elastic-perfectly plastic law for concrete in tension equal to 20% of the mean tensile strength is a simplified approach for introducing the fracture energy, but leads to good results. This approach leads to accurate results for the tests of this and 5 other studies with a wide range of characteristics.
- The strength of fiber reinforced concrete elements can be easily calculated with EPSF if an appropriate elastic-plastic law for the concrete in tension is considered. A plastic strength of $f_{r,3}/3$ up to a strain limit equivalent to a crack width of 2.5 mm is recommended ($f_{r,3}$ is the residual flexural tensile strength corresponding to CMOD=2.5 mm). This procedure has been tested in DEBs with transversal reinforcement and in beams without transversal reinforcement for a shear span-to-depth ratio of 3.
- Reinforcement strains and the load distribution between the different resistant mechanisms are accurately predicted for ultimate and service loads by EPSF models.

The following conclusions can be drawn in relation to the models proposed for obtaining the crack width in the re-entrant corner of DEBs:

- The rational model uses the reinforcement strains and bond stresses near the crack to calculate the crack width.
- Appropriate bond stresses for the rational model are: 1.8 times the concrete tensile strength (f_{ctm}) for the vertical and the diagonal reinforcement, and 0.72 times the concrete tensile strength for the horizontal reinforcement.
- The kinematic hypothesis proposed for combining the results of the different ties considers the crack slip. This hypothesis needs an additional hypothesis for obtaining the crack direction. It is recommended to neglect the crack slip instead of using a hypothesis for the crack direction.
- The concrete tensile strength contribution has to be considered in the rational model in order to avoid excessive overestimations of the crack width in DEBs with low amounts of reinforcement.
- The use of strains calculated from strut-and-tie models in the rational model leads to accurate estimations of the crack width up to 0.4 mm if an appropriate distribution between the orthogonal and the diagonal model is considered. For higher crack widths estimations are conservative. This approach is valid for non-computer-aided application. It has been successfully validated with experimental tests extracted from the literature.
- The use of models with a higher level of approximation for calculating the reinforcement strains to feed the rational model leads to more accurate results. This approach makes possible to calculate crack widths in a wider range of DEB typologies.
- The empirical model proposed for estimating the crack width consists in a compact formulation based on the ratio between the applied load and the ultimate load of the DEB, as well as on some others variables that define the cracking behaviour. This model fits better the experimental results of the current study than the rational model. Nevertheless, the empirical model is less robust than the rational model for other DEB configurations.
- The empirical model makes possible to give some rules for the design of the reinforcement for serviceability conditions. To fulfil in SLS a maximum crack width of 0.3 mm the reinforcement required for ULS should be increased from 25% to 100%. For a more restrictive condition of 0.1 mm this increment varies between 150% and 250%. For a target crack width the over-reinforcement depends on the layout of reinforcement, but especially on the ratio between the design load for the cracking SLS and the design load for ULS of the element.

VIII.3 Future work

The thesis includes new experimental results of dapped-end beams (DEB) and develops several methods to calculate the failure load and the crack width in these elements. However, more research is needed in order to investigate other aspects of DEBs and for a wider validation of the proposed methodologies. The following experimental future work is proposed:

- To assess which factors can lead to produce one or two cracks in the re-entrant corner of a bevelled DEB. The following variables could be studied: the geometry of the bevel, the amount of reinforcement, the thickness of the concrete cover and the presence or not of diagonal reinforcement.
- To study the influence on the crack width under serviceability conditions of setting unbonded post-tensioned rebars for the vertical reinforcement of DEB. It should be verified that if the prestress load is increased above a certain level, no greater reduction of the crack width is produced because under these conditions the crack width would be determined by the perpendicular non-tensioned reinforcement.
- To investigate the behaviour of DEBs with unbonded post-tensioned rebars for the vertical and also for the horizontal reinforcement.

In relation to the proposed simplified strut-and-tie models for DEBs, the models could be improved in order to include vertical and horizontal secondary reinforcement over the support. Hence, a bigger contrast of the model with experimental tests from the literature could be done.

Concerning the proposed rational model for the calculation of crack widths in DEBs, the following aspects are of interest:

- To study other variables related to the crack separation factor. A better insight in this factor could improve the accuracy of the model for crack widths over 0.4 mm.
- To give a theoretical approach for obtaining the DEB cracking load used in the rational model for considering indirectly the contribution of concrete tensile strength. Another option would be to include the concrete tensile strength in the proposed simplified model for calculating the strains; it could be included considering a concrete area for each tie and a constant or load-dependent stiffness for the concrete in tension.
- To provide a better insight in the rational model using strains calculated from elasto-plastic stress fields models or from some other model that calculates accurately reinforcement strains. It should be analysed the accuracy of this approach and the goodness for the analysis of DEBs with secondary reinforcement over the support.

In addition to the previous proposals for dapped-end beams, some other aspects related with elasto-plastic stress field models could be studied:

- To analyse whether the proposed concrete cover modelling is suitable for other structural elements with spalling issues.

- To develop a new concrete finite element for modelling concrete cover that includes the proposed discontinuous elements. This new element would lead to an easier modelling of concrete cover.
- To investigate the goodness of the proposed constitutive law for modelling steel fibre reinforced concrete with a wider range of structural elements and concrete characteristics.
- To study whether the presence of a minimum amount of fibres is equivalent to a minimum reinforcement that also avoids strain concentration. In that case, the proposed model could be used for the analysis of steel fibre reinforced concrete elements without transversal reinforcement for any span-to-depth ratio if the minimum amount of fibres is provided.

Finally, the digital image correlation technique developed and used for concrete two-dimensional measurements, could be improved for faster and more powerful analysis following next advises:

- To calculate the global error of the procedure with the proposed experimental procedure. The followings variables could influence the error: the colour surface pattern, the quantity of the movement of the tested element and the relative position of the measurement area in the image.
- To automate all the measurement process for the calculation of strains in all the image and for the detection of crack patterns for different load levels.

Bibliografía

- [1] fib bulletin No. 45, *Practitioners' guide to finite element modelling of reinforced concrete structures*. Lausanne, Switzerland, 2008.
- [2] Comisión Permanente del Hormigón, *EHE-2008. Instrucción de hormigón estructural*. Madrid, Spain: Ministerio de Fomento, 2008.
- [3] P. M. Johnson, A. Couture, y R. Nicolet, «Report of the Commission of inquiry into the collapse of a portion of the de la Concorde overpass», Commission of inquiry into the collapse of a portion of the de la Concorde overpass, Québec, Canadá, 2007.
- [4] R. Herzinger y M. Elbadry, «Alternative reinforcing details in dapped ends of precast concrete bridge girders: experimental investigation», *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2028, n.º -1, pp. 111-121, dic. 2007.
- [5] W. Gold, G. Blaszak, M. Mettemeyer, A. Nanni, y M. Wuerthele, «Strengthening Dapped Ends of Precast Double Tees with Externally Bonded FRP Reinforcement», en *Advanced Technology in Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, pp. 1-9.
- [6] M. D. Brown, «Design for shear in reinforced concrete using strut-and-tie and sectional models», Dissertation, University of Texas, 2005.
- [7] P. Marti, «Basic tools of reinforced concrete beam design», *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 82, n.º 1, pp. 46-56, 1985.
- [8] P. Marti, «Truss models in detailing», *Concrete International*, vol. 7, n.º 12, pp. 66-73, 1985.
- [9] J. Schlaich, K. Schäfer, y M. Jennewein, «Toward a consistent design of structural concrete», *PCI Journal*, vol. 32, n.º 3, pp. 74-150, jun. 1987.
- [10] P. F. Miguel Sosa, M. Á. Fernández Prada, J. L. Bonet Senach, J. R. Martí Vargas, J. Navarro Gregori, M. C. Castro Bugallo, y L. Pallarés Rubio, *Proyecto de estructuras de hormigón mediante el método de las bielas y tirantes*. Valencia, España: Ediciones VJ, 2009.
- [11] Ministerio de Fomento, *Instrucción de hormigón estructural (EHE-98)*. Madrid, Spain, 1998.

- [12] CE-Normalization, «EN 1992-1-1:2004. Eurocode 2», *Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings.*, 2004.
- [13] *fib Model Code 2010 - final draft, vols. 1 and 2.* FIB - Fédération Internationale du Béton, 2012.
- [14] Swiss Society of Engineers and Architects, *SIA 262:2013 for Concrete Structures.* Zürich, Switzerland, 2013.
- [15] A. Muttoni, J. Schwartz, y B. Thürlimann, *Bemessen und Konstruieren von Stahlbetontragwerken mit Spannungsfeldern.* Zürich, Switzerland: Vorlesungsunterlagen Stahlbeton AK, 1988.
- [16] A. Muttoni, M. F. Ruiz, y others, «Dimensionamiento y verificación del hormigón estructural mediante el método de los campos de tensiones», *Hormigón y Acero, Madrid*, vol. 243, pp. 93–102, 2007.
- [17] T. C.-K. Chan, «A Study of the behaviour of reinforced concrete dapped end beams», MSc Thesis, University of Washington, Seattle, Washington, USA, 1979.
- [18] A. H. Mattock y T. C. Chan, «Design and behavior of dapped-end beams», *PCI Journal*, vol. 24, n.º 6, pp. 28–45, 1979.
- [19] D. C. Drucker, «On Structural Concrete and the Theorems of Limit Analysis», *IABSE International Association for Bridge and Structural Engineering*, vol. IABSE-Reports 21, 1961.
- [20] M. P. Nielsen, M. W. Braestrup, B. C. Jensen, y F. Bach, *Concrete Plasticity: Beam Shear, Shear in Joints, Punching Shear.* Danish Society for Structural Science and Engineering, 1978.
- [21] M. P. Nielsen y L. C. Hoang, *Limit analysis and concrete plasticity*, 3rd edition. CRC press, 2010.
- [22] P. Müller, *Plastische Berechnung von Stahlbetonscheiben und-balken.* Zürich, Switzerland: IBK, ETH Zürich, 1978.
- [23] P. Marti, *Zur plastischen Berechnung von Stahlbeton*, Zürich, Switzerland. IBK, ETH Zürich, 1980.
- [24] A. Muttoni y M. Fernández Ruiz, «Dimensionamiento y verificación del hormigón estructural mediante el método de los campos de tensiones», *Hormigón y Acero*, vol. 243, pp. 93–102, 2007.
- [25] M. Fernández Ruiz y A. Muttoni, «On development of suitable stress fields for structural concrete», *ACI Structural Journal*, vol. 104, n.º 4, pp. 495-502, 2007.
- [26] A. Muttoni, J. Schwartz, y B. Thürlimann, *Dimensionamiento y concepción de estructuras en hormigón armado mediante campos de tensiones.* Lausanne, Suiza: IS-Beton, 2006.
- [27] P. F. Miguel Sosa, M. Á. Fenández Prada, y J. M. Pastor, «Modelo automático para determinar el esquema de bielas y tirantes de una región D de forma cualquiera», en *II Congreso de ACHE*, Madrid, Spain, 2002.
- [28] C. Sola García, P. F. Miguel Sosa, y M. Á. Fenández Prada, «Herramienta Informática Avanzada para el Análisis y Diseño de Regiones D en estructuras de hormigón», en *IV Congreso Internacional de Estructuras de ACHE*, Valencia, Spain, 2008.
- [29] C. Sola García, P. F. Miguel Sosa, L. Pallarés Rubio, y J. Mata Falcón, «Aplicación de la herramienta informática MEFBT para el diseño y análisis de ensayos experimentales de apoyos a media madera», en *V Congreso Internacional de Estructuras de ACHE*, Barcelona, Spain, 2011.
- [30] ACI 318-08, *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary.* Farmington Hills, Michigan, USA: American Concrete Institute, 2008.

- [31] C. S. A. Standard, «CSA A23. 3-04», *Canadian Standard Association*, vol. 232, 2004.
- [32] R. Herzinger, «Stud reinforcement in dapped ends of concrete beams», Thesis, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 2008.
- [33] P. Kumaraguru, «Strength of dapped end beams», MSc Thesis, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, 1992.
- [34] G. C. Reynolds, *The strength of half-joints in reinforced concrete beams*. Cement and Concrete Association, 1969.
- [35] M. P. Werner y W. H. Dilger, «Shear design of prestressed concrete stepped beams», *PCI Journal*, vol. 18, n.º 4, pp. 37-49, ago. 1973.
- [36] A. A. Hamoudi, M. K. . Phang, y R. A. Bierweiler, «Diagonal shear in prestressed concrete dapped-beams», en *ACI Journal Proceedings*, 1975, vol. 72, pp. 347-350.
- [37] G. Menon y R. W. Furlong, «Design of reinforcement for notched ends of prestressed concrete girders», Research Project, University of Texas, Austin, Texas, USA, 1977.
- [38] M. A. Khan, «A study of the behaviour of reinforced concrete dapped-end beams», MSc Thesis, University of Washington, Seattle, Washington, USA, 1981.
- [39] S. K. Liem, «Maximum shear strength of dapped-end or corbel», MSc Thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 1983.
- [40] J. C.-J. Chung, «Effect of depth of nib on strength of dapped-end beam», MSc Thesis, University of Washington, Seattle, Washington, USA, 1985.
- [41] J. M. Ajina, «Effect of steel fibers on precast dapped-end beam connections», Thesis, South Dakota State University, Brookings, South Dakota, EEUU, 1986.
- [42] A. H. Mattock y T. S. Theryo, «Strength of precast prestressed concrete members with dapped ends», *PCI Journal*, vol. 34, n.º 5, pp. 58-75, oct. 1986.
- [43] W. D. Cook y D. Mitchell, «Studies of disturbed region near discontinuities in reinforced concrete members», Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Québec, Canada, 87-3, dic. 1987.
- [44] W. D. Cook y D. Mitchell, «Studies of disturbed regions near discontinuities in reinforced concrete members», *ACI Structural Journal*, vol. 85, n.º 2, pp. 206-216, 1988.
- [45] L. A. Clark y P. Thorogood, *Serviceability behaviour of reinforced concrete half joints. CR70*. Birmingham, United Kingdom: Structural Analysis Unit, Structures Group, Transport and Road Research Laboratory, 1987.
- [46] L. A. Clark y P. Thorogood, «Serviceability behaviour of reinforced concrete half joints», *Structural Engineer*, vol. 66, n.º 18, pp. 295-302, sep. 1988.
- [47] D. L. Barton, «Detailing of structural concrete dapped end beams», MSc Thesis, University of Texas, Austin, Texas, USA, 1988.
- [48] L. A. Clark, B. Gill, y H. Taylor, «Precast concrete U-beam dapped ends», *ACI Structural Journal*, vol. 86, n.º 6, pp. 723-727, 1989.

- [49] K. M. P. So, «The behaviour of thin stemmed precast prestressed concrete members with dapped ends», MSc Thesis, McGill University, Montreal, Quebec, Canada, 1989.
- [50] D. J. Mader, «Detailing dapped ends of pretensioned concrete beams», MSc Thesis, University of Texas, Austin, Texas, USA, 1990.
- [51] I. J. Lin, S. J. Hwang, W. Y. Lu, y J. T. Tsai, «Shear strength of reinforced concrete dapped-end beams», *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 16, n.º 3, pp. 275–294, 2003.
- [52] W. Y. Lu, I. J. Lin, S. J. Hwang, y Y. H. Lin, «Shear strength of high-strength concrete dapped-end beams», *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 26, n.º 5, pp. 671–680, 2003.
- [53] R. R. H. Zhu, W. Wanichakorn, T. T. C. Hsu, y J. Vogel, «Crack width prediction using compatibility-aided strut-and-tie model», *ACI Structural Journal*, vol. 100, n.º 4, pp. 413–421, 2003.
- [54] S. Taher, «Strengthening of critically designed girders with dapped ends», *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures and Buildings*, vol. 158, n.º 2, pp. 141–152, 2005.
- [55] Q. Wang, Z. Guo, y P. C. . Hoogenboom, «Experimental investigation on the shear capacity of RC dapped end beams and design recommendations», *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 21, n.º 2, pp. 221–235, 2005.
- [56] P.-C. Huang y A. Nanni, «Dapped-end strengthening of full-scale prestressed double tee beams with FRP composites», *Advances in Structural Engineering*, vol. 9, n.º 2, pp. 293–308, abr. 2006.
- [57] D. Mitchell, W. D. Cook, y T. Peng, «Further examples for the design of structural concrete with Strut-and-Tie models - Example 14: Importance of reinforcement detailing», en *American Concrete Institute, ACI Special Publication 273*, 2010, pp. 237–251.
- [58] K. Nagrodzka-Godycka y P. Piotrkowski, «Experimental study of dapped-end beams subjected to inclined load», *ACI Structural Journal*, vol. 109, n.º 1, pp. 11–20, 2012.
- [59] T. Nagy-György, G. Sas, A. C. Dăescu, J. A. O. Barros, y V. Stoian, «Experimental and numerical assessment of the effectiveness of FRP-based strengthening configurations for dapped-end RC beams», *Engineering Structures*, vol. 44, pp. 291–303, 2012.
- [60] S. Ahmad, A. Elahi, M. F. Junaid Hafeez, y Z. Ahsan, «Evaluation of the Shear Strength of Dapped Ended Beam», *Life Science Journal*, vol. 10, n.º 3, pp. 1038–1044, 2013.
- [61] J. Y. Moreno-Martínez y R. Meli, «Experimental study on the structural behavior of concrete dapped-end beams», *Engineering Structures*, vol. 75, pp. 152–163, sep. 2014.
- [62] J. R. Gaston y L. B. Kriz, «Connections in precast concrete structures—scarf joints», *PCI Journal*, vol. 9, n.º 3, pp. 37–59, jun. 1964.
- [63] PCI Industry Handbook Committee, *PCI design handbook 3rd ed.* Chicago, Illinois, USA: Precast/Prestressed Concrete Institute, 1985.
- [64] PCI Industry Handbook Committee, *PCI design handbook 7th ed.* Chicago, Illinois, USA: Precast/Prestressed Concrete Institute, 2010.
- [65] PCI Industry Handbook Committee, *PCI design handbook 2nd ed.* Chicago, Illinois, USA: Precast/Prestressed Concrete Institute, 1978.

- [66] PCI Industry Handbook Committee, *PCI design handbook 4th ed.* Chicago, Illinois, USA: Precast/Prestressed Concrete Institute, 1992.
- [67] PCI Industry Handbook Committee, *PCI design handbook 1st ed.* Chicago, Illinois, USA: Precast/Prestressed Concrete Institute, 1971.
- [68] G. Sas, C. Dăescu, C. Popescu, y T. Nagy-György, «Numerical optimization of strengthening disturbed regions of dapped-end beams using NSM and EBR CFRP», *Composites Part B: Engineering*, vol. 67, pp. 381-390, nov. 2014.
- [69] British Standards Institution, *BS 5400-4:1984 Steel, concrete and composite bridges: part 4. Code of practice for design of concrete bridges.* London, UK, 1984.
- [70] *NRA B-39/14 Assessment of reinforced concrete half-joints*, vol. Volume 3 - Highway Structures: Inspection and Maintenance. Dublin, Ireland: Irish National Roads Authority, 2014.
- [71] CE-Normalization, «EN 1992-2:2005. Eurocode 2», *Design of concrete structures. Part 2: Concrete bridges - Design and detailing rules*, 2005.
- [72] «UNE-EN_12390-3 [2003] - Ensayo de Hormigón Endurecido. Parte 3 - Determinación de la resistencia a compresión de probetas». 2003.
- [73] «UNE-EN_12390-6 [2001] - Ensayo de Hormigón Endurecido. Parte 6 - Resistencia a tracción indirecta de probetas». 2001.
- [74] «UNE-EN 14651:2007. Método de ensayo para hormigón con fibras metálicas. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión (límite de proporcionalidad (LOP), resistencia residual)». Asociación Española de Normalización y Certificación, 2007.
- [75] «UNE-EN ISO_6892-1 [2010] - Materiales Metálicos. Ensayo de Tracción. Parte 1 - Método de ensayo a temperatura ambiente». 2009.
- [76] Z. Zhang, «A flexible new technique for camera calibration», *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 22, n.º 11, pp. 1330–1334, 2002.
- [77] J. Heikkila y O. Silven, «A four-step camera calibration procedure with implicit image correction», en *Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceedings., 1997 IEEE Computer Society Conference on*, San Juan, Puerto Rico, 2002, pp. 1106–1112.
- [78] F. J. Vecchio y M. P. Collins, «The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements subjected to Shear», *ACI Journal*, vol. 83, n.º 2, pp. 219–231, 1986.
- [79] A. Muttoni, M. Fernández Ruiz, y F. Niketic, «Design versus assessment of concrete structures using stress fields and strut-and-tie models», *ACI Structural Journal*, vol. Accepted for publication, n.º --, p. --, 2015.
- [80] E. Cuenca Asensio, «On Shear Behavior of Structural Elements Made of Steel Fiber Reinforced Concrete», *Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain*, 2012.
- [81] F. Minelli, A. Conforti, E. Cuenca, y G. Plizzari, «Are steel fibres able to mitigate or eliminate size effect in shear?», *Mater Struct*, pp. 1-15, 2013.
- [82] S. Campana, «Éléments en béton armé soumis à une combinaison de flexion, effort tranchant et forces de déviation», *École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland*, 2013.

- [83] A. Muttoni y J. Schwartz, «Behavior of Beams and Punching in Slabs without Shear Reinforcement», *IABSE Colloquium*, vol. 62, pp. 703-708, 1991.
- [84] RILEM TC 162-TDF, «Final recommendation of RILEM TC 162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete sigma-epsilon-design method», *Materials and Structures*, vol. 36, n.º 262, pp. 560-567, ago. 2003.
- [85] M. Strack, «Modelling of crack opening in steel fibre reinforced concrete under tension and bending», en *BEFIB 2008: 7th RILEM International Symposium on Fibre Reinforced Concrete*, 2008, pp. 323-332.
- [86] S. Campana, M. Fernández Ruiz, A. Anastasi, y A. Muttoni, «Analysis of shear-transfer actions on one-way RC members based on measured cracking pattern and failure kinematics», *Magazine of Concrete Research*, vol. 65, n.º 6, pp. 386-404, mar. 2013.
- [87] J. Mata Falcón, M. Fernández Ruiz, y A. Muttoni, «Aplicación de Modelos de Campos de Tensiones para el Análisis en Servicio y Rotura de Apoyos a Media Madera», *VI Congreso Internacional de Estructuras de ACHE*, jun. 2014.
- [88] M. Fernández Ruiz y A. Muttoni, «Applications of Critical Shear Crack Theory to Punching of Reinforced Concrete Slabs with Transverse Reinforcement», *ACI Structural Journal*, vol. 106, n.º 4, pp. 485-494, 2009.

Anejo A





Protocolo de ensayo





Para la correcta realización de los ensayos resulta imprescindible una correcta planificación de los mismos y un control de todos los pasos necesarios para su realización. Por este motivo se ha confeccionado un protocolo de ensayo compuesto por las tareas principales que es necesario realizar. De esta forma este documento sirve de hoja de control para la realización secuencial de todas las tareas. El protocolo de ensayo tiene una casilla para registrar la fecha en la que se realiza cada una de las tareas y un espacio en el que se indican las posibles incidencias surgidas.





Pese a que el proceso de ensayo suele considerarse la fase concreta de carga de las probetas, en el presente anejo se considera el ensayo como el proceso completo que va desde la definición de las piezas hasta el análisis de los resultados obtenidos, comprendiendo las siguientes fases:





- Definición y planificación de ensayos
- Fabricación de piezas
- Preparación del ensayo
- Ensayo
- Post-proceso y análisis de resultados





Las principales tareas que componen estas fases se relacionan en el protocolo de ensayo que se adjunta a continuación.





				PROTOCOLO DE ENSAYO 1/6
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera	AUTOR:	Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 1 – Definición y planificación de ensayos. Operaciones previas				
A. Definición de las piezas				
<i>Determinación de las características de las piezas a ensayar</i>	<input type="text"/>			
<i>Cálculo de armados y detalles de armado</i>	<input type="text"/>			
<i>Confección de planos de armado</i>	<input type="text"/>			
B. Definición de instrumentación				
<i>Confección de planos de galgas extensométricas de acero y hormigón</i>	<input type="text"/>			
<i>Confección de planos de ubicación de captadores de desplazamiento</i>	<input type="text"/>			
<i>Definición de configuración de canales del equipo de adquisición (galgas extensométricas, captadores de desplazamiento y transductores de fuerza y presión)</i>	<input type="text"/>			
<i>Impresión de etiquetas para galgas extensométricas</i>	<input type="text"/>			
C. Definición de fotogrametría				
<i>Selección de parámetros para medición fotogramétrica</i>	<input type="text"/>			
<i>Calibración de distorsiones del sistema para los parámetros empleados</i>	<input type="text"/>			
D. Materiales necesarios				
<i>Listado de los materiales necesarios para los ensayos (galgas, adhesivos de galgas, punteras...)</i>	<input type="text"/>			
<i>Revisar el stock de los materiales y encargar los necesarios</i>	<input type="text"/>			
E. Suministro de ferralla				
<i>Encargar a taller especializado la realización de las ferrallas según planos de armado</i>	<input type="text"/>			

   		PROTOCOLO DE ENSAYO 2/6	
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera	AUTOR: Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 2 – Fabricación de piezas			
A. Preparación de la ferralla			
Recepción de ferralla			
	<i>Revisión de geometría</i>		
	<i>Modificación de ferralla para ajustarla a las tolerancias deseables</i>		
Instrumentación de ferrallas según planos de galgas			
	<i>Disposición de galgas. Registrar el factor de galga empleado.</i>		
	<i>Etiquetado de galgas</i>		
	<i>Protección de cables mediante bolsas</i>		
B. Preparación de piezas para el hormigonado			
	<i>Disposición de separadores según las indicaciones de los planos de armado</i>		
	<i>Encofrado de piezas</i>		
	<i>Preparación de moldes para fabricación de probetas de control del hormigón (3 pr. cilíndr. por pieza para ens. de acompañamiento + 4 pr. cilíndr. para ens. de control)</i>		
Revisión final de ferrallas			
	<i>Medición y registro de recubrimientos reales finales</i>		
	<i>Fotografiado de ferrallas listas para hormigonar</i>		
C. Hormigonado			
	<i>A las 2h → Alisado de la zona de instalación de galgas de hormigón</i>		
	<i>A las 2h → Colocación de ganchos de acero para maniobrar probetas</i>		
	<i>A las 4h → Riego con agua y cubrición con plásticos para el curado</i>		
D. Desencofrado			
Desmoldeado de probetas control (a las 24 h del hormigonado)			
	<i>Desmoldeado de probetas y limpieza de moldes</i>		
	<i>Guardar prob. de acompañamiento en mismas condiciones que las piezas a ensayar. Riego y cubrición con plásticos</i>		
	<i>Guardar probetas de control en cámara húmeda</i>		
Desencofrado de probetas (a los 7 días del hormigonado)			
	<i>Desencofrado de piezas y acopio en zona apropiada</i>		
	<i>Limpieza de encofrados y plancha de hormigonado</i>		

   		PROTOCOLO DE ENSAYO 3/6	
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera	AUTOR: Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 3 – Preparación del ensayo			
A. Colocación de la pieza			
<i>Limpieza y revisión de las placas de teflón y acero inoxidable del apoyo deslizante</i>			
<i>Colocación de la probeta en el pórtico a ensayar</i>			
B. Preparación de instrumentación			
<i>Pegado de galgas extensométricas en la superficie del hormigón. Registrar el factor de galga empleado.</i>			
<i>Replanteo de ubicación de captadores de desplaz. según planos correspondientes</i>			
<i>Colocación de chapas de acero para captadores de desplazamiento de fibra inferior</i>			
<i>Pelado de cables y colocación de punteras</i>			
<i>Colocación de captadores de desplazamiento</i>			
<i>Atomillado de galgas extensométricas a las regletas del equipo de adquisición, según la configuración de canales prevista</i>			
<i>Conexión de captadores de desplazamiento y transductores de fuerza y presión al equipo de adquisición, según la configuración de canales prevista</i>			
<i>Configuración del equipo de adquisición (canales y nombres de sensores) y revisión del funcionamiento de toda la instrumentación</i>			
C. Preparación de fotogrametría			
<i>Moteado en blanco y negro de la zona de medición</i>			
<i>Conexión del equipo de disparo automático de fotos a la red eléctrica y al equipo de adquisición</i>			
<i>Ubicación y conexión de focos halógenos</i>			
<i>Ubicación de trípodes en posición predefinida</i>			
D. Operaciones previas generales			
<i>Refrentado de probetas de control</i>			
<i>Acercamiento del actuador a la pieza de ensayo</i>			
<i>Liberar la coacción lateral de los apoyos deslizantes</i>			
<i>Pintado de eje de armaduras sobre la superficie de hormigón</i>			

   		PROTOCOLO DE ENSAYO 4/6	
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera	AUTOR:	Jaime Mata Falcón
			PIEZA: _____
FASE 4 – Ensayo (1/2)			
A. Operaciones de laboratorio			
Operaciones previas			
<i>Configuración de cámaras de fotos según parámetros predefinidos (velocidad, apertura, balance de blancos, sensibilidad, enfoque...)</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Sincronización horaria entre cámaras de fotos y equipo de adquisición</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Ubicación de cámaras de fotos en trípodes y conexión a equipo disparo automático</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Ubicación de cámara de video sobre trípode y conexión a red eléctrica</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Preparación de fórmulas y gráficos en software de adquisición de datos</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Encendido de equipo de disparo de fotos y focos halógenos</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Fotografiado de rejillas para ubicación espacial de las cámaras respecto a la probeta</i>		<input type="checkbox"/>	
Proceso de ensayo			
<i>Inicio grabación de video y disparo con cadencia de fotos</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Inicio de la adquisición de datos</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Inicio del proceso de carga</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Fotografiado de cara dorsal durante el ensayo</i>		<input type="checkbox"/>	
Post-ensayo			
<i>Finalización de grabación video y disparo de fotos</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Fotografiado en detalle de la zona de rotura</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Grabación de los archivos de datos del ensayo en dispositivo de memoria externa</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Retirada de equipos, trípodes y desconexión de instrumentación</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Retirada de la pieza ensayada</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Limpieza de la zona de ensayo</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Rotura de probetas control</i>		<input type="checkbox"/>	
B. Operaciones posteriores de laboratorio			
<i>Ensayo de barras corrugadas a tracción</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Ensayo de probetas de control del hormigón a 28 días</i>		<input type="checkbox"/>	
C. Operaciones iniciales de oficina			
<i>Descarga de archivos de datos del equipo de adquisición</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Descarga de tarjetas de memoria de cámaras de fotos</i>		<input type="checkbox"/>	
<i>Extracción de hora de captura de fotos a partir de metadatos</i>		<input type="checkbox"/>	Continúa...

   		PROTOCOLO DE ENSAYO 5/6	
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera	AUTOR: Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 4 – Ensayo (2/2)			
C. Operaciones iniciales de oficina (continuación)			
<i>Paso a doc's electrónicos correspondientes incidencias, comentarios de los ensayos y resultados de los ensayos de las probetas de control tomados manualmente.</i>			
<i>Organización de archivos del ensayo según el sistema de directorios preestablecido</i>			
<i>Copia de seguridad de archivos</i>			
Continúa...			

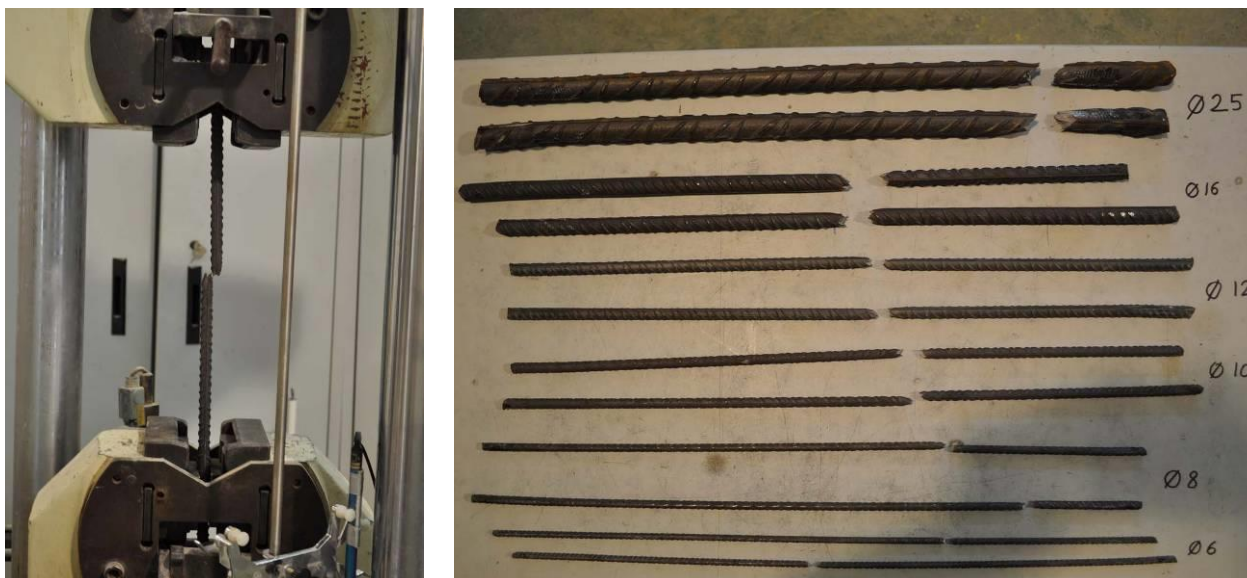
   		PROTOCOLO DE ENSAYO 6/6	
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media madera	AUTOR: Jaime Mata Falcón	PIEZA: _____
FASE 5 – Post-proceso y análisis de resultados			
A. Post-proceso de resultados			
<i>Extracción de información de fotos iniciales de rejillas</i>			
<i>Selección de puntos de medición fotogramétrica en la foto patrón</i>			
<i>Seguimiento de movimientos de puntos de medición respecto a la foto patrón</i>			
<i>Digitalización de cintas de video</i>			
Ensamblaje de la hoja de cálculo “Datos Base” (reúne los datos del equipo de adquisición, los resultados del análisis fotogramétrico, las horas de captura de las fotos y los datos del ensayo)			
<i>Aplicación de media móvil para suavizado de resultados</i>			
<i>Condensar la información a un total de 2.000 medidas dentro de la zona de interés</i>			
<i>Eliminar los resultados fotogramétricos fuera de la zona de ensayo deseada</i>			
<i>Incorporación de datos del ensayo, resultados de ensayos de barras de acero y probetas de control del hormigón</i>			
Procesado de resultados con la hoja de cálculo modelo (reordena los distintos sensores y combina los datos del equipo de adquisición con los resultados del análisis fotogramétrico)			
<i>Incorporación de los “Datos Base” procesados a la hoja de cálculo modelo</i>			
<i>Selección de galgas para el promedio en tirantes</i>			
<i>Ajustar fila final para cada una de las series</i>			
<i>Obtención de la flecha bajo punto de aplicación de la carga</i>			
<i>Selección de fisuras más representativas entre las calculadas</i>			
...			
Confección de gráficos sintéticos de tensiones y tracciones para distintos escalones de carga			
<i>Extracción de resultados de la hoja de cálculo modelo para los distintos escalones</i>			
<i>Confección automatizada de gráficos</i>			
Confección de fichas de ensayo			
<i>Confección de gráficas</i>			
<i>Incorporación de esquemas de armado</i>			
<i>Incorporación de esquemas de instrumentación</i>			
<i>Incorporación de imágenes más representativas</i>			
B. Análisis de resultados			
C. Planificación de siguientes series de ensayos a partir de la experiencia obtenida			

Anejo B

Ensayos de caracterización de las barras de acero corrugado

En este anejo se presenta el procedimiento para la obtención del límite elástico y de la tensión máxima mediante el ensayo de tracción realizado según la norma UNE-EN ISO 6892-1:2009 [75], así como los resultados detallados de los distintos ensayos realizados.

Se dispone un transductor de desplazamiento potenciométrico con la finalidad de poder obtener la deformación del acero. La Fotografía B.1.a muestra el proceso de ensayo.



Fotografía B.1: Ensayo de tracción de acero: (a) Proceso de ensayo; (b) Barras tras la rotura. Serie 2

Para la obtención del límite elástico se procede según lo indicado en la norma UNE-EN ISO 6892-1:2009 [75]: se ajusta linealmente el tramo recto de la curva carga-deformación y se decala hacia la izquierda un 0.2%; el corte de dicha recta decalada con la curva carga-deformación define el punto del

límite elástico. El procedimiento a modo de ejemplo para uno de los ensayos se muestra en la Figura B.1.

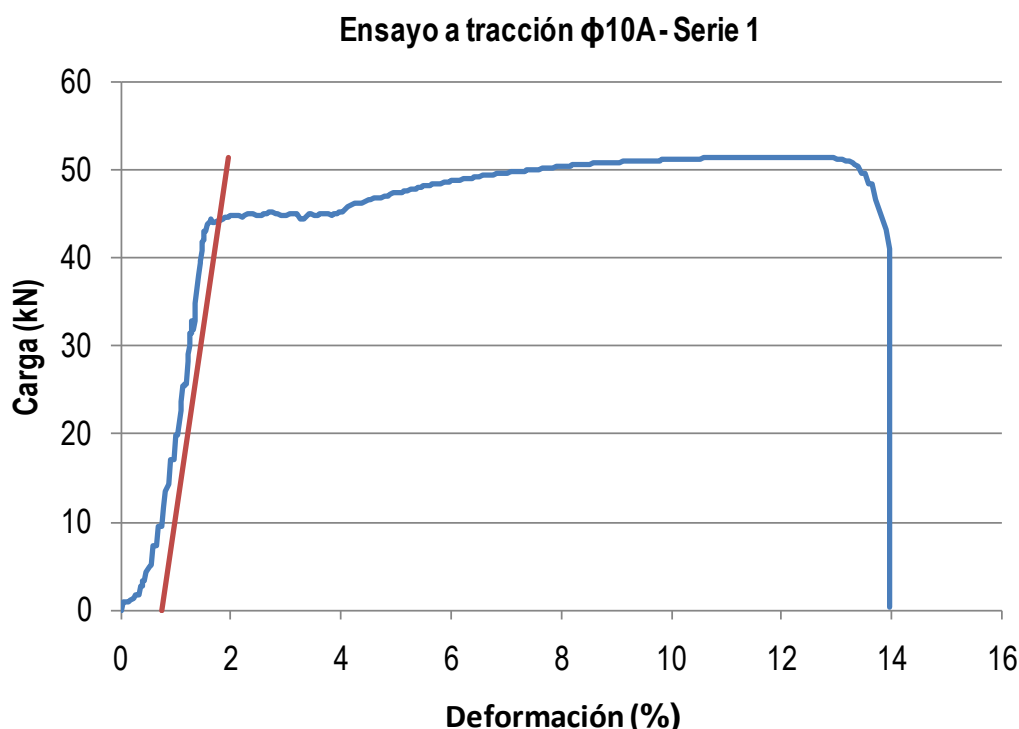


Figura B.1: Ejemplo de cálculo del límite elástico

Los resultados completos de caracterización para cada uno de los lotes de acero empleado en las 5 series de ensayos se muestran de la Tabla B.1 a la Tabla B.5. Cabe destacar que para cada lote y diámetro se realizan un total de dos ensayos, habiéndose sintetizado en el apartado III.3.2 del documento los valores promediados de límite elástico y tensión máxima.

Tabla B.1: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 1

Fecha ensayos	07/09/2010											
	$\phi 8$			$\phi 10$			$\phi 12$			$\phi 20$		
	8-A	8-B	Media	10-A	10-B	Media	12-A	12-B	Media	20-A	20-B	Media
Diámetro (mm)	8	8	8	10	10	10	12	12	12	20	20	20
Longitud (mm)	587	614	⊗	608	606	⊗	610	603	⊗	610	617	⊗
Peso (kg)	0.239	0.248	⊗	0.372	0.371	⊗	0.541	0.535	⊗	1.479	1.493	⊗
R_p - Carga límite elástico (kN)	31.84	30.39	⊗	44.65	44.34	⊗	66.07	66.25	⊗	170.84	166.07	⊗
R_m - Carga máxima (kN)	36.31	34.95	⊗	51.35	51.53	⊗	76.32	75.78	⊗	205.32	206.55	⊗
Límite elástico (MPa)	633.4	604.6	619.0	568.5	564.6	566.5	584.2	585.8	585.0	543.8	528.6	536.2
Tensión carga máxima (MPa)	722.4	695.4	708.9	653.9	656.2	655.0	674.8	670.1	672.5	653.6	657.5	655.5

Tabla B.2: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 2

Fecha ensayos		05/11/2010											
		φ6			φ8			φ10			φ12		
		6-A	6-B	Media	8-A	8-B	Media	10-A	10-B	Media	12-A	12-B	Media
Diámetro (mm)		6	6	6	8	8	8	10	10	10	12	12	12
Longitud (mm)		598	602	⊗	596	599	⊗	602	611	⊗	612	617	⊗
Peso (kg)		0.132	0.133	⊗	0.228	0.23	⊗	0.363	365	⊗	0.532	0.537	⊗
R _p - Carga límite elástico (kN)		15.59	15.36	⊗	26.63	26.88	⊗	43.44	42.04	⊗	60.97	62.55	⊗
R _M - Carga máxima (kN)		19.42	19.04	⊗	33.61	33.96	⊗	51.80	50.97	⊗	73.93	75.01	⊗
Límite elástico (MPa)		551.4	543.2	547.3	529.8	534.8	532.3	553.1	535.3	544.2	539.1	553.1	546.1
Tensión carga máxima (MPa)		686.8	673.4	680.1	668.6	675.7	672.1	659.6	649.0	654.3	653.7	663.3	658.5
		φ16			φ25								
		16-A	16-B	Media	25-A	25-B	Media						
Diámetro (mm)		16	16	16	25	25	25						
Longitud (mm)		605	595	⊗	610	625	⊗						
Peso (kg)		0.929	0.912	⊗	2.311	2.374	⊗						
R _p - Carga límite elástico (kN)		108.71	112.29	⊗	279.25	280.20	⊗						
R _M - Carga máxima (kN)		134.28	136.27	⊗	339.70	343.53	⊗						
Límite elástico (MPa)		540.7	558.5	549.6	568.9	570.8	569.9						
Tensión carga máxima (MPa)		667.8	677.8	672.8	692.0	699.8	695.9						

Tabla B.3: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 3

Fecha ensayos		03/05/2011											
		φ6			φ8			φ10			φ12		
		6-A	6-B	Media	8-A	8-B	Media	10-A	10-B	Media	12-A	12-B	Media
Diámetro (mm)		6	6	6	8	8	8	10	10	10	12	12	12
Longitud (mm)		634	638	⊗	634	627	⊗	637	635	⊗	651	642	⊗
Peso (kg)		0.137	0.138	⊗	0.25	0.247	⊗	0.387	0.385	⊗	0.561	0.553	⊗
R _p - Carga límite elástico (kN)		15.59	16.00	⊗	28.00	27.70	⊗	43.44	42.70	⊗	62.30	62.50	⊗
R _M - Carga máxima (kN)		20.48	20.13	⊗	34.00	33.71	⊗	51.46	51.61	⊗	71.94	72.84	⊗
Límite elástico (MPa)		551.4	565.9	558.6	557.0	551.1	554.1	553.1	543.7	548.4	550.9	552.6	551.7
Tensión carga máxima (MPa)		724.3	712.1	718.2	676.4	670.6	673.5	655.2	657.1	656.2	636.1	644.0	640.1
		φ16			φ25								
		16-A	16-B	Media	25-A	25-B	Media						
Diámetro (mm)		16	16	16	25	25	25						
Longitud (mm)		645	647	⊗	646	652	⊗						
Peso (kg)		1.005	1.008	⊗	2.457	2.519	⊗						
R _p - Carga límite elástico (kN)		108.71	110.00	⊗	265.00	265.00	⊗						
R _M - Carga máxima (kN)		127.05	129.62	⊗	317.36	321.66	⊗						
Límite elástico (MPa)		540.7	547.1	543.9	539.9	539.9	539.9						
Tensión carga máxima (MPa)		631.9	644.7	638.3	646.5	655.3	650.9						

Tabla B.4: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 4

Fecha ensayos	28/02/2012											
	φ6			φ8			φ10			φ12		
	6-A	6-B	Media	8-A	8-B	Media	10-A	10-B	Media	12-A	12-B	Media
Diámetro (mm)	6		6	8	8	8	10	10	10	12	12	12
Longitud (mm)	603			611	605		613	605		615	605	
Peso (kg)	0.129			0.236	0.229		0.362	0.359		0.529	0.521	
R _p - Carga límite elástico (kN)	16.95			27.70	27.50		43.80	43.70		64.00	60.00	
R _M - Carga máxima (kN)	21.27			33.64	33.37		52.05	52.27		77.12	73.34	
Límite elástico (MPa)	599.5		599.5	551.1	547.1	549.1	557.7	556.4	557.0	565.9	530.5	548.2
Tensión carga máxima (MPa)	752.3		752.3	669.3	663.9	666.6	662.8	665.5	664.1	681.9	648.5	665.2

	φ16			φ25		
	16-A	16-B	Media	25-A	25-B	Media
Diámetro (mm)	16	16	16	25	25	25
Longitud (mm)	605	605		608	608	
Peso (kg)	0.924	0.911		2.290	2.323	
R _p - Carga límite elástico (kN)	115.20	115.40		273.50	281.00	
R _M - Carga máxima (kN)	133.31	133.58		336.36	343.39	
Límite elástico (MPa)	573.0	574.0	573.5	557.2	572.4	564.8
Tensión carga máxima (MPa)	663.0	664.3	663.7	685.2	699.5	692.4

Tabla B.5: Resultados de ensayos de tracción de acero. Serie 5

Fecha ensayos	03/07/2012											
	φ8			φ10			φ12			φ16		
	8-A	8-B	Media	10-A	10-B	Media	12-A	12-B	Media	16-A	16-B	Media
Diámetro (mm)	8	8	8	10	10	10	12	12	12	16	16	16
Longitud (mm)	597	593		581	592		585	593		596	599	
Peso (kg)	0.238	0.234		0.351	0.357		0.504	0.515		0.913	0.919	
R _p - Carga límite elástico (kN)	25.40	25.80		42.70	42.50		62.60	62.20		105.50	107.50	
R _M - Carga máxima (kN)	33.21	33.12		50.92	50.46		73.70	73.73		127.89	128.52	
Límite elástico (MPa)	505.3	513.3	509.3	543.7	541.1	542.4	553.5	550.0	551.7	524.7	534.7	529.7
Tensión carga máxima (MPa)	660.8	659.0	659.9	648.3	642.5	645.4	651.6	652.0	651.8	636.1	639.2	637.6

	φ25			φ15 Dywidag		
	25-A	25-B	Media	15D-A	15D-B	Media
Diámetro (mm)	25	25	25	15	15	15
Longitud (mm)	596	594		599	598	
Peso (kg)	2.252	2.245		0.853	0.852	
R _p - Carga límite elástico (kN)	266.00	265.00		174.50	173.00	
R _M - Carga máxima (kN)	318.85	319.09		210.16	208.29	
Límite elástico (MPa)	541.9	539.9	540.9	987.5	979.0	983.2
Tensión carga máxima (MPa)	649.6	650.0	649.8	1189.3	1178.7	1184.0

Anejo C

Ensayos de control del hormigón

En este anejo se muestran los ensayos para la obtención de las propiedades mecánicas del hormigón. En el caso de las probetas ejecutadas con hormigón con fibras se determina la resistencia a flexotracción en lugar de la resistencia a tracción indirecta.

En lo que respecta al curado de las probetas, en los ensayos de control a 28 días éste se realiza en cámara húmeda a una temperatura de 20 °C y con una humedad relativa superior al 95%. Otra serie de probeta se mantienen en idénticas condiciones de curados a los apoyos a media madera a ensayar, rompiéndose a la misma fecha a la que se ejecuta el ensayo y se rompen a la misma fecha a la que se ejecuta el ensayo; estos ensayos se denominan ensayos de acompañamiento.

C.1 Compresión simple

La determinación de la resistencia a compresión simple se realiza mediante el ensayo de probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 12390-3:2003 [72].

Las superficies destinadas a cargarse son preparadas por refrentado mediante mezcla de azufre. Según las indicaciones del anexo A de la norma UNE-EN 12390-3:2003 [72] este procedimiento es adecuado, dado que el hormigón tiene una resistencia inferior a 50 N/mm².

De la Tabla C.1 a la Tabla C.5 se muestran los resultados detallados de resistencias a compresión, divididas por series de ensayos. En aquellos resultados remarcados se han observado anomalías en el ensayo que han llevado a descartar el valor obtenido.



Fotografía C.1: Ensayo de compresión simple del hormigón: (a) Vista general de ensayo; (b) Detalle de probeta tras rotura

Tabla C.1: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 1

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a compresión f_c (Mpa)	Resis. media a compresión f_{cm}
16/06/2010	14/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	74.00	41.00	41.0
16/06/2010	14/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	54.00	29.90	
16/06/2010	15/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.1	29	71.25	39.50	41.1
16/06/2010	15/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.1	29	77.00	42.70	
16/06/2010	19/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.2	33	67.00	37.20	39.3
16/06/2010	19/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.2	33	74.50	41.30	
16/06/2010	22/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.3	36	74.50	41.30	39.9
16/06/2010	22/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.3	36	69.50	38.50	
16/06/2010	23/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.4	37	73.50	40.80	40.4
16/06/2010	23/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.4	37	72.00	39.90	
16/06/2010	27/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.5	41	73.50	40.80	40.8
16/06/2010	27/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.5	41	66.50	36.90	
16/06/2010	29/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.1	43	74.50	41.30	40.2
16/06/2010	29/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.1	43	70.50	39.10	

Tabla C.2: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 2

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a compresión f_c (Mpa)	Resis. media a compresión f_{cm}
29/10/2010	26/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	65.00	36.00	34.9
29/10/2010	26/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	61.00	33.80	
29/10/2010	19/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.6	21	55.00	30.50	31.1
29/10/2010	19/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.6	21	57.00	31.60	
29/10/2010	26/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.7	28	52.00	28.80	30.0
29/10/2010	26/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.7	28	56.00	31.10	
29/10/2010	01/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-2.2	33	60.00	33.30	33.3
29/10/2010	01/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-2.2	33	45.00	25.00	
29/10/2010	03/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.8	35	57.50	31.90	32.2
29/10/2010	03/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.8	35	58.25	32.40	
29/10/2010	16/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.9	48	55.50	30.80	31.9
29/10/2010	16/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.9	48	59.50	33.00	
29/10/2010	22/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-2.3	54	61.00	33.80	33.3
29/10/2010	22/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-2.3	54	59.00	32.70	

Tabla C.3: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 3

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a compresión -f _c - (Mpa)	Resis. media a compresión -f _{cm} -
10/03/2011	07/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	66.30	36.80	37.1
10/03/2011	07/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	67.50	37.40	
10/03/2011	31/03/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.1	21	64.50	35.80	33.7
10/03/2011	31/03/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.1	21	57.00	31.60	
10/03/2011	04/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.4	25	67.50	37.40	36.9
10/03/2011	04/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.4	25	65.50	36.30	
10/03/2011	07/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.5	28	66.90	37.10	37.1
10/03/2011	07/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.5	28	64.75	35.90	
10/03/2011	12/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.2	33	67.00	37.20	37.2
10/03/2011	12/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.2	33	50.00	28.00	
10/03/2011	18/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.6	39	69.00	38.30	38.3
10/03/2011	18/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.6	39	69.00	38.30	
10/03/2011	20/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.3	41	54.00	29.90	38.8
10/03/2011	20/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.3	41	70.00	38.80	

Tabla C.4: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 4

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a compresión -f _c - (Mpa)	Resis. media a compresión -f _{cm} -
02/12/2011	30/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	61.50	34.20	34.7
02/12/2011	30/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	63.50	35.10	
02/12/2011	27/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.4	25	64.00	35.50	34.6
02/12/2011	27/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.4	25	60.50	33.60	
02/12/2011	29/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.1	27	58.50	32.40	33.3
02/12/2011	29/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.1	27	61.50	34.10	
02/12/2011	05/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.2	34	65.50	36.30	35.2
02/12/2011	05/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.2	34	61.50	34.10	
02/12/2011	11/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.5	40	57.50	31.90	33.1
02/12/2011	11/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.5	40	61.50	34.20	
02/12/2011	13/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.6	42	65.00	36.00	36.7
02/12/2011	13/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.6	42	67.50	37.40	
02/12/2011	20/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.3	49	69.00	38.30	36.9
02/12/2011	20/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.3	49	64.00	35.40	

Tabla C.5: Resultados de ensayos de compresión simple del hormigón. Serie 5

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a compresión -f _c - (Mpa)	Resis. media a compresión -f _{cm} -
04/05/2012	01/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Control	28	74.00	41.00	41.5
04/05/2012	01/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Control	28	75.50	41.90	
04/05/2012	25/05/2012	HAF-30/A-3,5-2,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.7 (T1)	21	79.50	44.00	45.2
04/05/2012	25/05/2012	HAF-30/A-3,5-2,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.7 (T1)	21	83.50	46.30	
04/05/2012	25/05/2012	HAF-30/A-3,5-2,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.7 (T2)	21	80.50	44.60	45.8
04/05/2012	25/05/2012	HAF-30/A-3,5-2,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.7 (T2)	21	84.50	46.90	
04/05/2012	04/06/2012	HAF-30/A-8,0-4,5/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.8 (T1)	31	87.00	48.30	48.2
04/05/2012	04/06/2012	HAF-30/A-8,0-4,5/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.8 (T1)	31	86.50	48.00	
04/05/2012	04/06/2012	HAF-30/A-8,0-4,5/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.8 (T2)	31	88.00	48.80	49.4
04/05/2012	04/06/2012	HAF-30/A-8,0-4,5/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.8 (T2)	31	90.00	49.90	
04/05/2012	05/06/2012	HAF-30/A-8,5-7,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.9 (T1)	32	85.00	47.10	47.3
04/05/2012	05/06/2012	HAF-30/A-8,5-7,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.9 (T1)	32	85.50	47.40	
04/05/2012	05/06/2012	HAF-30/A-8,5-7,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.9 (T2)	32	89.50	49.60	49.5
04/05/2012	05/06/2012	HAF-30/A-8,5-7,0/AC/12-35/Ila	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.9 (T2)	32	89.00	49.40	
04/05/2012	07/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.10	34	75.00	41.60	41.8
04/05/2012	07/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.10	34	75.50	41.90	
04/05/2012	12/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.11	39	77.00	42.70	45.5
04/05/2012	12/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.11	39	85.00	48.30	
04/05/2012	13/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.12	40	88.00	48.80	48.4
04/05/2012	13/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.12	40	86.50	48.00	

C.2 Tracción indirecta

Para caracterizar la resistencia a tracción del hormigón se realizan ensayos de tracción indirecta sobre probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, de acuerdo a las prescripciones de la norma UNE-EN 12390-6:2001 [73].



Fotografía C.2: Ensayo de tracción indirecta del hormigón: (a) Vista general de ensayo; (b) Detalle de probeta tras rotura

De la Tabla C.6 a la Tabla C.10 se muestran los resultados de estos ensayos.

Tabla C.6: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 1

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a tracción indirecta $-f_{ct}$ (Mpa)
16/06/2010	14/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	22.25	3.08
16/06/2010	14/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	21.50	2.98
16/06/2010	15/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.1	29	22.75	3.15
16/06/2010	19/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.2	33	18.50	2.56
16/06/2010	22/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.3	36	22.50	2.98
16/06/2010	23/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.4	37	23.00	3.19
16/06/2010	27/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-1.5	41	22.00	3.05
16/06/2010	29/07/2010	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.1	43	22.00	3.05

Tabla C.7: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 2

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a tracción indirecta $-f_{ct}$ (Mpa)
29/10/2010	26/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	21.50	2.98
29/10/2010	26/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Control	28	25.50	3.54
29/10/2010	19/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.6	21	23.00	3.19
29/10/2010	26/11/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.7	28	20.50	2.84
29/10/2010	01/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-2.2	33	21.75	2.98
29/10/2010	03/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.8	35	20.00	2.77
29/10/2010	16/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-1.9	48	23.00	3.19
29/10/2010	22/12/2010	HA-30/F/20/I	CEM II A-LL 42,5 R	Acomp. DEB-2.3	54	21.75	2.98

Tabla C.8: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 3

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a tracción indirecta - f_{ct} (Mpa)
10/03/2011	07/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	21.50	2.98
10/03/2011	07/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	20.00	2.77
10/03/2011	31/03/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.1	21	19.50	2.70
10/03/2011	04/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.4	25	26.50	3.67
10/03/2011	07/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.5	28	20.50	2.84
10/03/2011	12/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.2	33	29.00	4.02
10/03/2011	18/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-2.6	39	23.00	3.19
10/03/2011	20/04/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.3	41	22.00	3.05

Tabla C.9: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 4

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a tracción indirecta - f_{ct} (Mpa)
02/12/2011	30/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	23.00	3.19
02/12/2011	30/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Control	28	22.00	3.05
02/12/2011	27/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.4	25	20.50	2.86
02/12/2011	29/12/2011	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.1	27	23.00	3.19
02/12/2011	05/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.2	34	22.00	3.05
02/12/2011	11/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.5	40	22.00	3.05
02/12/2011	13/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.6	42	23.50	3.26
02/12/2011	20/01/2012	HA-30/F/20/I	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-4.3	49	25.00	3.47

Tabla C.10: Resultados de ensayos de tracción indirecta del hormigón. Serie 5

Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	Resistencia a tracción indirecta - f_{ct} (Mpa)
04/05/2012	01/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Control	28	26.50	3.67
04/05/2012	01/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Control	28	23.50	3.26
04/05/2012	07/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.10	34	27.00	3.74
04/05/2012	12/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.11	39	24.50	3.40
04/05/2012	13/06/2012	HA-30/F/20/I	CEM II A-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.12	40	28.00	3.88

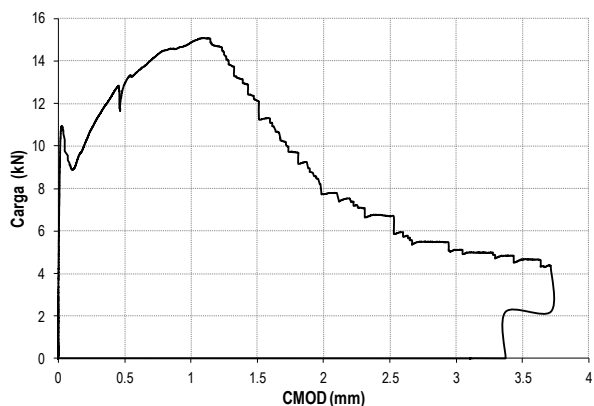
C.3 Flexotracción

Para la caracterización de la resistencia a tracción del hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA) se realizan un total de 7 ensayos de flexión a 3 puntos sobre probetas prismáticas de 550x150x150 mm³ según UNE-EN 14651:2007 [74], determinándose tanto el límite de proporcionalidad (f_l), como los distintos valores de la resistencia residual a flexotracción (f_{Rj}).

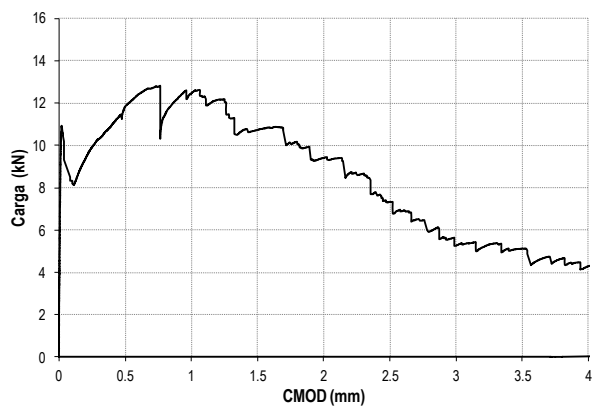
Se realiza un ensayo por cada una de las amasadas, más un ensayo correspondiente a la caracterización previa del hormigón con una mayor cuantía de fibras (100 kg/m³). Los resultados de límite de proporcionalidad y resistencias residuales obtenidas se sintetizan en la Tabla C.11, mientras que en la Figura C.1 se muestran las curvas carga abertura de fisura (CMOD) de cada uno de los ensayos.

Tabla C.11: Resultados de ensayos de flexotracción

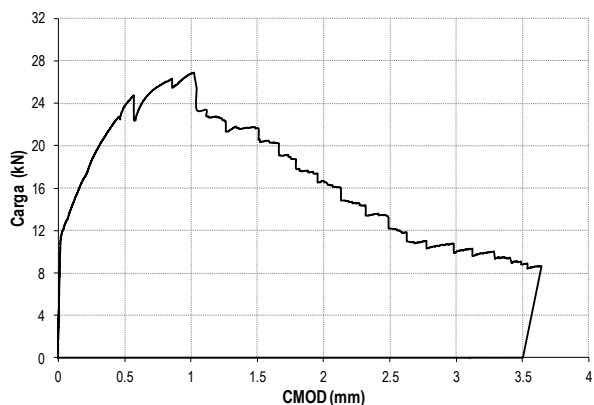
Fecha hormigonado	Fecha ensayo	Tipo hormigón	Cemento	Tipo de ensayo	Edad probeta (días)	Carga máxima (Tn)	f_l (Mpa)	$f_{R,1}$ (Mpa)	$f_{R,2}$ (Mpa)	$f_{R,3}$ (Mpa)	$f_{R,4}$ (Mpa)
04/05/2012	12/07/2012	HAF-30/A-3,5-2,0/AC/12-35/IIa	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.7 (T1)	69	1.538	3.498	4.130	3.874	2.144	1.487
04/05/2012	12/07/2012	HAF-30/A-3,5-2,0/AC/12-35/IIa	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.7 (T2)	69	1.305	3.491	3.776	3.428	2.332	1.632
04/05/2012	13/07/2012	HAF-30/A-8,0-4,5/AC/12-35/IIa	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.8 (T1)	70	2.738	4.004	7.558	6.798	4.142	2.578
04/05/2012	13/07/2012	HAF-30/A-8,0-4,5/AC/12-35/IIa	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.8 (T2)	70	3.077	4.330	9.313	7.718	5.756	4.287
27/04/2012	12/07/2012	HAF-30/A-8,5-7,0/AC/12-35/IIa	CEM II B-V 42,5 R	Caract. 100 kg/m ³	76	2.913	4.007	8.000	8.267	6.579	5.215
04/05/2012	13/07/2012	HAF-30/A-8,5-7,0/AC/12-35/IIa	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.9 (T1)	70	3.124	4.461	8.715	9.463	6.985	5.137
04/05/2012	13/07/2012	HAF-30/A-8,5-7,0/AC/12-35/IIa	CEM II B-V 42,5 R	Acomp. DEB-3.9 (T2)	70	3.806	5.032	11.074	9.750	8.575	7.211



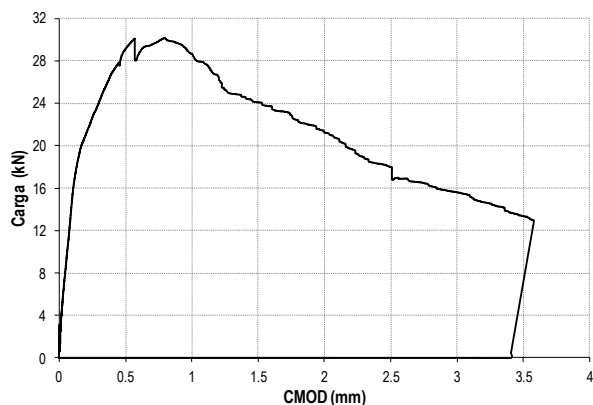
(a) DEB-3.7 (T1) – 40 kg/m³



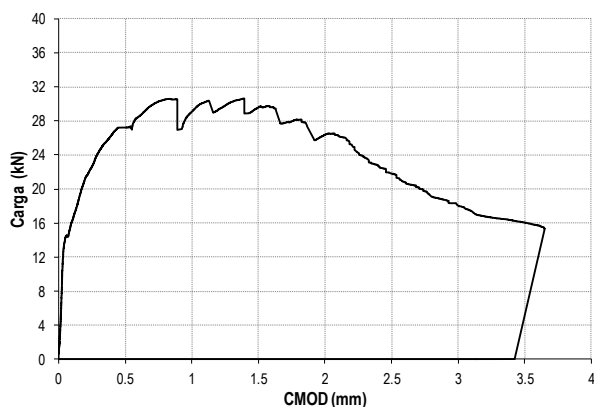
(b) DEB-3.7 (T2) – 40 kg/m³



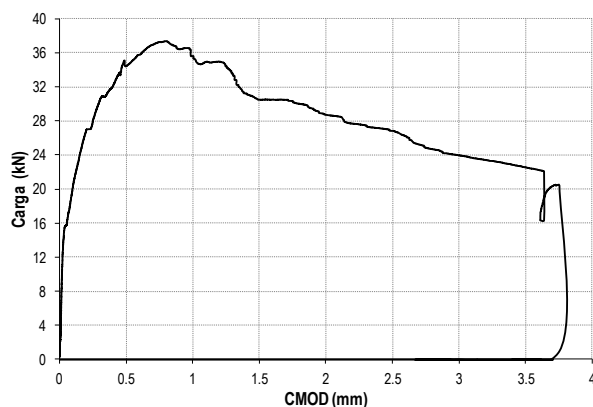
(c) DEB-3.8 (T1) – 70 kg/m³



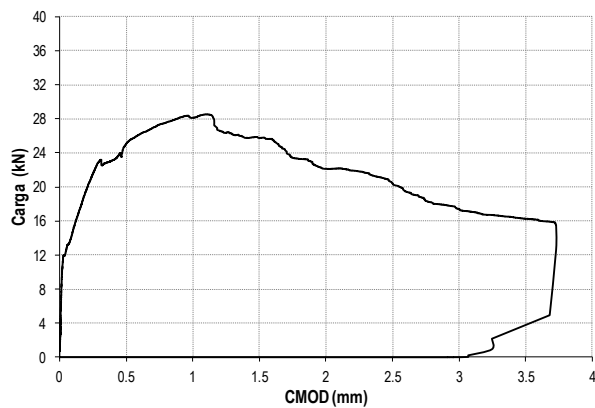
(d) DEB-3.8 (T2) – 70 kg/m³



(e) DEB-3.9 (T1) – 100 kg/m³



(f) DEB-3.9 (T2) – 100 kg/m³



(g) Caracterización F100 - 100 kg/m³

Figura C.1: Resultados de ensayos de flexotracción

Anejo D

Contribución del hormigón en el mecanismo de abertura de fisura

En este anejo se explica el mecanismo de contribución del hormigón en tracción que tiende a reducir la abertura de fisura, desarrollándose un coeficiente reductor de la abertura de fisura (k_c) a emplear en el modelo de cálculo propuesto en apartado VII.2.

D.1 Modelo de cálculo basado en la mecánica de la fractura

Para la consideración de la contribución del hormigón en tracción en el mecanismo resistente en servicio de los AMM se toma el modelo de cálculo expuesto previamente en el apartado VII.2.7 y que se detalla en la Figura D.1. Para la determinación de las tracciones en el hormigón se tomará la resistencia a tracción (f_{ct}), la energía de fractura (G_f) y la ley de *softening* definidas en el MC-2010 [13]. Como simplificación se considera únicamente el estado en que la fisura se encuentra completamente desarrollada en su longitud y que su inclinación sea igual a 45°. Se supone que la fibra neutra de la pieza se sitúa a 1/3 de la cabeza y que se produce una variación de la abertura de fisura proporcional con la profundidad³⁵.

Las hipótesis anteriores permiten obtener la magnitud de la fuerza resultante de las tracciones generadas en la fisura (T_c), en función de la abertura de fisura máxima en el borde de la pieza (w):

$$T_c = \left(\frac{f_{ct,m} \cdot 0.25 \cdot x1}{2} + \frac{f_{ct,m} \cdot 0.75 \cdot x2}{2} \right) \cdot b = \frac{f_{ct,m} \cdot w_1 \cdot x}{w} \cdot b$$
$$w_1 = \frac{G_f}{f_{ct,m}}$$

³⁵ Estas hipótesis son congruentes con la relación experimental propuesta anteriormente entre la abertura de fisura máxima en el borde de la pieza y la abertura de fisura a la altura de las armaduras.

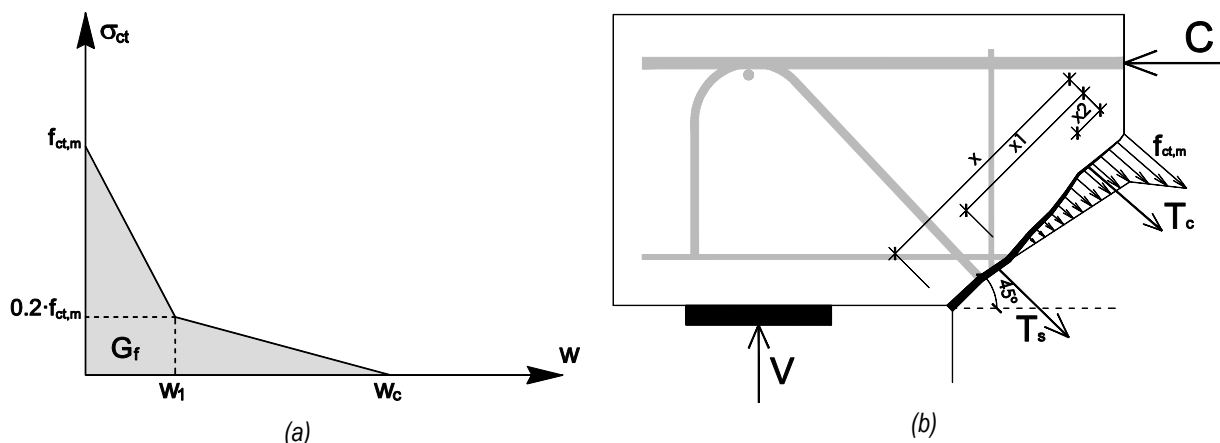


Figura D.1: (a) Ley de softening en la fisura propuesta por MC-2010 [13]; (b) Esquema simplificado tracciones en el hormigón

Se analiza el funcionamiento de este procedimiento propuesto mediante los resultados de los ensayos de Zhu et al. [53], debido a que en estos ensayos se ha observado una gran influencia de la componente del hormigón en tracción sobre los resultados de aberturas de fisura. Bajo estas hipótesis y tomando las propiedades mecánicas medias de los materiales para las distintas piezas se obtiene la resultante de las tracciones en el hormigón (T_c) y su proyección vertical ($T_{c,v}$) para distintas aberturas de fisura (véase Tabla D.1).

Tabla D.1: Modelo de aplicación de contribución del hormigón. Aplicación a ensayos de Zhu et al. [53]

w (mm)	T_c (kN)	$T_{c,v}$ (kN)	V (kN)	$T_{c,v}/V$	$1-T_{c,v}/V$	$k_{c,teo}$	$k_{c,exp}$
0.05	-	-	162	-	-	-	0.17
0.15	-	-	200	-	-	-	0.33
0.30	104	74	236	0.31	0.69	0.47	0.47
0.35	90	63	276	0.23	0.77	0.59	0.64
0.70	45	32	315	0.10	0.90	0.81	0.82

Para analizar el porcentaje de carga soportado por el hormigón ($T_{c,v}/V$) en la Tabla D.1 se han extraído las cargas promedio experimentales asociadas a distintas aberturas de fisura. Según lo expuesto en el apartado VII.2.7, el coeficiente reductor (k_c) a aplicar para reducir las aberturas de fisura por la contribución del hormigón en tracción debe de ser igual al cuadrado de la componente de carga que el modelo predice que debe ser soportada por las armaduras ($1-T_{c,v}/V$). En la Tabla D.1 se muestran los valores del cálculo del coeficiente reductor al aplicar la formulación basada en la mecánica de fractura ($k_{c,teo}$), así como los valores necesarios para lograr un ajuste adecuado de las aberturas de fisura experimentales ($k_{c,exp}$), partiendo de los resultados de abertura de fisura predichos por el modelo racional sin consideración de la contribución del hormigón. La hipótesis aplicada al modelo de que la abertura de fisura se encuentra desarrollada en toda su longitud no permite aplicarlo para aberturas de fisura reducidas, pero en el resto de los casos la correlación entre el modelo propuesto y los datos experimentales es casi perfecta. Los resultados obtenidos reflejan que el modelo propuesto recoge adecuadamente el fenómeno de contribución del hormigón en tracción.

D.2 Estimación a partir de la carga de fisuración

Para la consideración de la contribución del hormigón en tracción en la reducción de la abertura de fisura, el procedimiento propuesto en el apartado anterior conduce a unos resultados precisos, pero resulta poco operativa para los procedimientos propuestos. Al ser la formulación dependiente de la abertura de fisura, la aplicación de este procedimiento para el cálculo de ella misma conllevaría un procedimiento iterativo poco operativo alejado del propósito de las formulaciones propuestas para la abertura de fisura. Por este motivo en este apartado se propone una estimación del coeficiente de contribución del hormigón (k_c) a partir de la carga de fisuración (V_{cr}) que conduzca a resultados similares a los obtenidos mediante el modelo de cálculo anterior.

Se propone emplear la siguiente formulación, representada gráficamente en la Figura D.2:

$$k_c = 1 - 2 \left(\frac{V_{cr}}{V} \right)^2 \geq 0$$

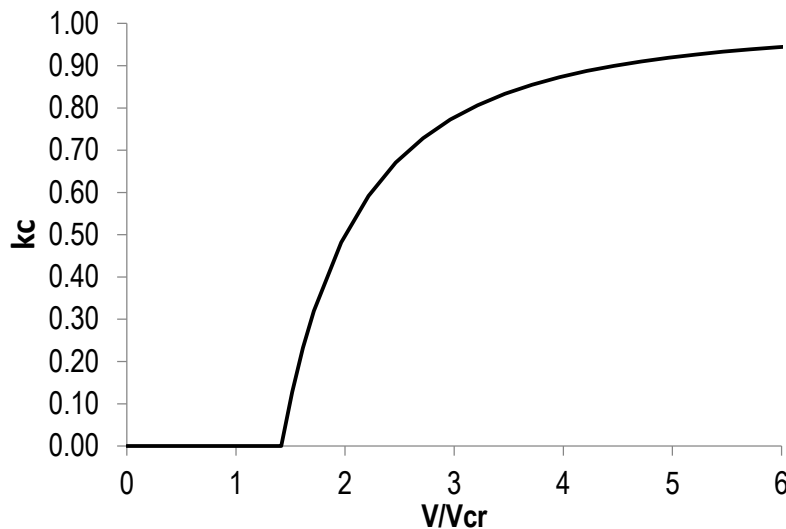


Figura D.2: Ajuste de coeficiente de contribución del hormigón en función de la carga de fisuración

Los resultados obtenidos por este ajuste junto con los resultados teóricos y experimentales mostrados previamente en la Tabla D.1, se representan en la Figura D.3. Se pone de manifiesto la adecuación tanto del ajuste teórico como de la simplificación propuesta en función de la carga de fisuración. El ajuste de la propuesta de la carga de fisuración se ha realizado en base a los resultados de los ensayos de Zhu et al. [53], por lo que los coeficientes finalmente propuestos se determinan en el proceso de ajuste de los distintos parámetros del modelo racional a partir de los datos de la campaña experimental (véase apartado VII.2.8).

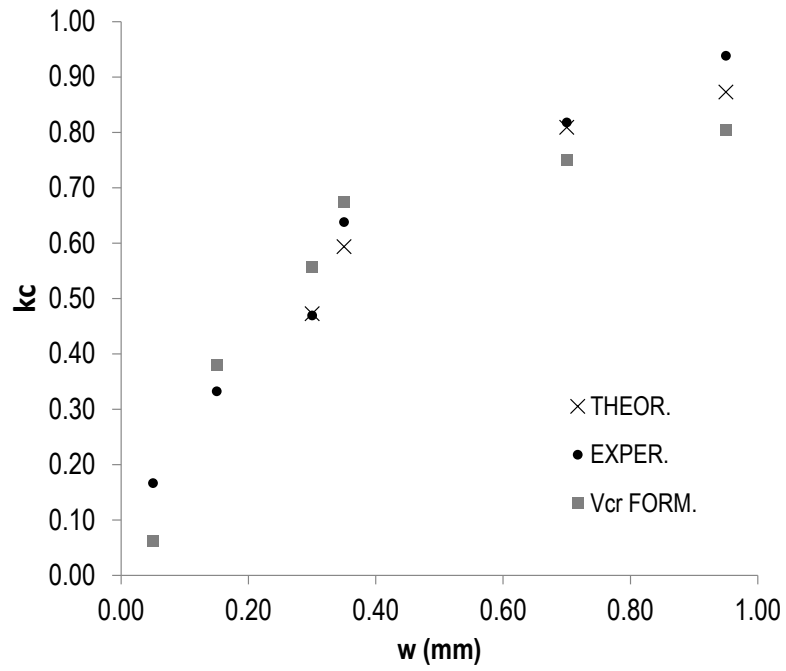


Figura D.3: Síntesis de ajustes del coeficiente de contribución del hormigón

Anejo E

Cálculo de la carga de fisuración

En este anejo se explica un procedimiento simplificado propuesto para determinar la carga de fisuración (V_{cr}) a los efectos exclusivos de las metodologías de cálculo de la abertura de fisura propuestas. La carga de fisuración se emplea para considerar de forma indirecta en los modelos la contribución en tracción del hormigón. Se expone el procedimiento propuesto y el ajuste con respecto a los datos experimentales disponibles en la literatura.

E.1 Formulación propuesta

La determinación de la carga de fisuración en los AMM es un problema de cierta complejidad, dada la geometría de la región y el desconocimiento del estado tensional real en la región D. Se han analizado modelos ajustados al problema real, presentando la problemática de una precisión no muy elevada combinada con una formulación muy compleja. Dado que la obtención de la carga de fisuración no es un objetivo en sí, sino una estimación auxiliar que permita cuantificar la contribución del hormigón en la pieza a los efectos del cálculo de la abertura de fisura, se ha optado por un procedimiento alternativo simplificado.

El método propuesto parte de la hipótesis de que la carga de fisuración (V_{cr}) puede obtenerse como el producto de un coeficiente de ajuste (k) por una carga de fisuración ficticia (V'_{cr}) en la pieza calculada suponiendo una distribución lineal de tensiones en la sección de cambio de canto. Se considera, además de la carga vertical (V), la existencia de una carga horizontal, relacionada con la vertical mediante el coeficiente μ , y una fuerza de pretensado (P). En la Figura E.1 se muestra el modelo para el cálculo de V'_{cr} .

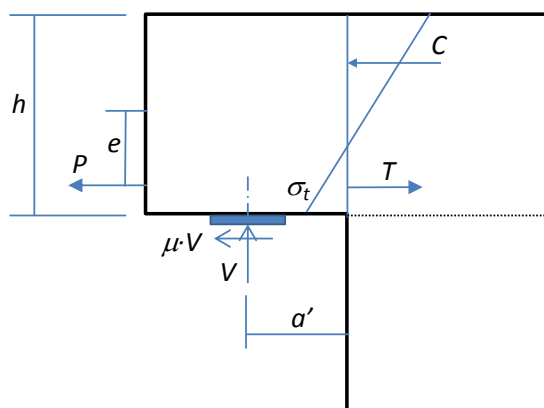


Figura E.1: Cálculo de carga de fisuración suponiendo distribución lineal de tensiones en la sección de cambio de canto (V'_{cr})

El modelo anterior conduce a la siguiente formulación para el cálculo de la carga de fisuración ficticia:

$$V'_{cr} = \frac{f_{ct} + B}{A}$$

$$\mapsto A = \frac{4 \cdot \mu}{b \cdot h} + \frac{6 \cdot a'}{b \cdot h^2}$$

$$\mapsto B = \frac{P}{b \cdot h} + \frac{6 \cdot P \cdot e}{b \cdot h^2} \leq 9 \text{ MPa}$$

El coeficiente B permite obtener la contribución de la carga de pretensado (P). Se limita la compresión máxima de la pieza debida al pretensado a 9 MPa, dado que la validez del procedimiento propuesto se ha comprobado exclusivamente hasta tensiones de ese orden de magnitud.

La carga de fisuración se calculará como:

$$V_{cr} = k \cdot V'_{cr}$$

E.2 Ajuste y bondad de la formulación propuesta

El coeficiente k de ajuste de la formulación propuesta se ajusta en base a los resultados experimentales de la presente campaña experimental (denominados como Mata-Falcón), los de Zhu et al. [53] y los de Nagrodzca-Godycka et al. [58], obteniéndose el siguiente coeficiente: **k=0.4**

El ajuste de la carga de fisuración con la formulación propuesta y considerando el coeficiente de ajuste k=0.4 propuesto se muestra en la Figura E.2.

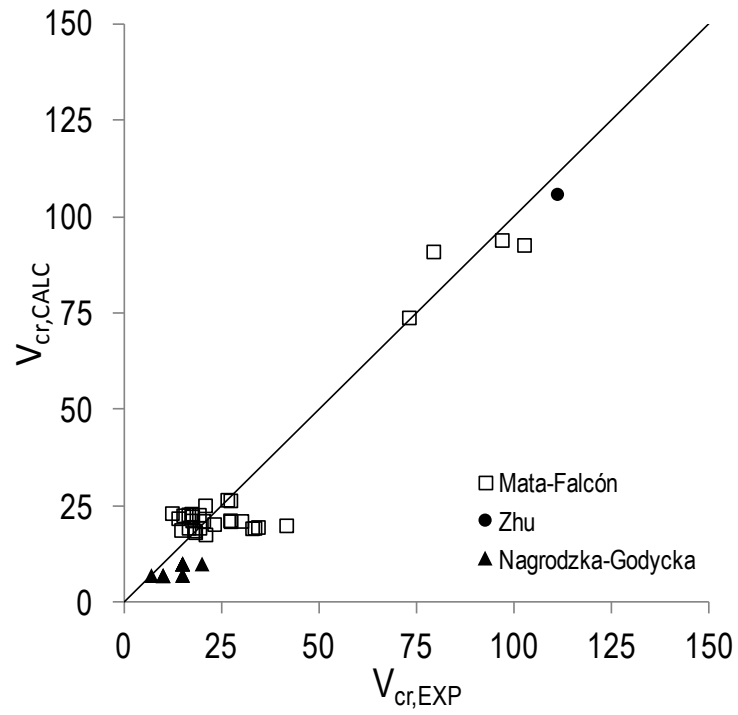


Figura E.2: Carga de fisuración calculada vs carga de fisuración experimental

Anejo F

Medición fotogramétrica

El presente anejo tiene como finalidad mostrar una visión general del desarrollo realizado de la técnica de medición fotogramétrica que ha permitido registrar de manera continua las aberturas de fisura en los 60 ensayos de la presente campaña experimental con unos resultados satisfactorios. Se muestran una serie de conceptos y reflexiones que pueden ser de utilidad tanto para futuros usuarios de la técnica como para posteriores desarrollos de la misma.

Cabe destacar que se ha abordado únicamente la medición en 2D, válida para ensayos que tengan un movimiento fundamentalmente plano, fotografiados mediante una única cámara fotográfica. Quedan fuera de su alcance la medición estereoscópica con dos o más cámaras, que permitiría analizar movimientos en 3D.

F.1 Introducción

La fotogrametría es una técnica que aplicada a la medición en laboratorio de estructuras permite una medida de desplazamientos no invasiva. Dicha medida se realiza a partir de la toma de fotografías del elemento a ensayar. En la bibliografía técnica se han aplicado distintas estrategias de medición fotogramétrica aplicada al hormigón. Una de ellas, válida para determinar patrones y aberturas de fisuras, consiste en detectar las fisuras por su tonalidad, de manera análoga a como se haría con un microscopio. Este enfoque admite diferentes niveles de sofisticación. La estrategia seguida en la presente investigación, y que se aborda en el presente anejo, consiste en detectar los desplazamientos de la superficie del hormigón basándose en la detección de patrones.

De manera sintética el proceso consiste en tomar una secuencia de fotos durante el ensayo, para a posteriori hacer el seguimiento de los puntos a medir (fotogrametría interpretativa) y aplicar procesos para obtener una información métrica precisa (fotogrametría métrica), con los que obtener así el campo de desplazamientos de los distintos puntos respecto a una fotografía de referencia. En caso de emplear una cadencia suficiente puede considerarse que la medición es continua.

Mediante el post-proceso de este campo de desplazamientos se pueden obtener teóricamente tantas variables se deseen, como desplazamientos totales de un punto, desplazamientos relativos entre dos puntos, deformaciones unitarias, aberturas y deslizamientos de fisura, etc. Las limitaciones a la hora de obtener resultados vendrán dadas por la precisión alcanzada, dado que no se requiere la misma precisión para determinar la flecha de una viga que para determinar deformaciones en el hormigón.

Pasa a realizarse una breve comparativa de la técnica de medición fotogramétrica respecto a las técnicas de medición convencionales. Las principales ventajas que puede ofrecer este método frente a las técnicas convencionales son:

- Es una técnica no invasiva, por lo que no se alteran las propiedades del elemento a ensayar.
- No es necesario conocer a priori los puntos concretos en los que se desea obtener medidas. Se puede registrar una zona relativamente amplia, y una vez se ha ensayado el elemento se realizan mediciones en los puntos de control deseados (por ejemplo perpendicularmente a una fisura que se haya abierto). Con un proceso automatizado sería posible analizar automáticamente toda la región fotografiada (análisis realizado por los programas comerciales desarrollados para tal efecto).
- Es posible disponer información en un número muy elevado de puntos. Al tener fotografiada una zona más o menos amplia es posible analizarla toda, caracterizando por ejemplo la abertura de una fisura no en un solo punto sino en función de su profundidad, u obtener el estado tensodeformacional de la región, siempre que la precisión alcanzada con la metodología sea adecuada.
- Es una técnica en evolución, con sensores que tienen cada vez más resolución, por lo que es previsible que la técnica se vaya instaurando como un elemento convencional del instrumental de laboratorio.

Entre las desventajas que pueden citarse de la técnica fotogramétrica respecto a técnicas de medida convencionales son:

- Salvo que se empleen cámaras fotográficas métricas³⁶, no se utiliza una instrumentación específicamente concebida para la medición. Se suele trabajar por tanto con instrumentos de medida no testados para los que es necesario determinar el error instrumental.
- Mediante las herramientas con las que se ha trabajado en la presente investigación se requiere de un post-proceso para la obtención de resultados, no pudiéndose observar

³⁶ Las cámaras métricas son cámaras de registro fotográfico especialmente concebidas para la toma de información métrica. Las distorsiones y demás parámetros que configuran el modelo de cámara vienen especificados en estos casos por el fabricante y se calibran periódicamente.

los resultados en tiempo real mientras se realiza el ensayo, tal y como sí sucede con otras técnicas de medición.

F.2 Precisión de la técnica de medición

La precisión (p) de la técnica de medición fotogramétrica en distancias, es una variable necesaria para poder determinar si la técnica es suficientemente precisa para el fin que se está empleando. Dicho error es la combinación de la resolución (r) con la que se haya fotografiado la región de la pieza a analizar, junto con el error global del procedimiento (e) de procesamiento de las fotografías y de modelización de las cámaras (en píxeles):

$$p(mm) = e(px) \cdot r' \left(\frac{mm}{px} \right)$$

F.2.1 Resolución

El proceso tendrá un determinado error global (e) que vendrá expresado en píxeles. Dependiendo de la resolución con la que se esté fotografiando la pieza, esa precisión se traducirá en un determinado error en distancias (p). De manera intuitiva, y tal y como se indica en la Figura F.1, si con el mismo equipo fotográfico y con una determinada precisión global se duplica el campo visual abarcado, también se duplicará el error en distancias.

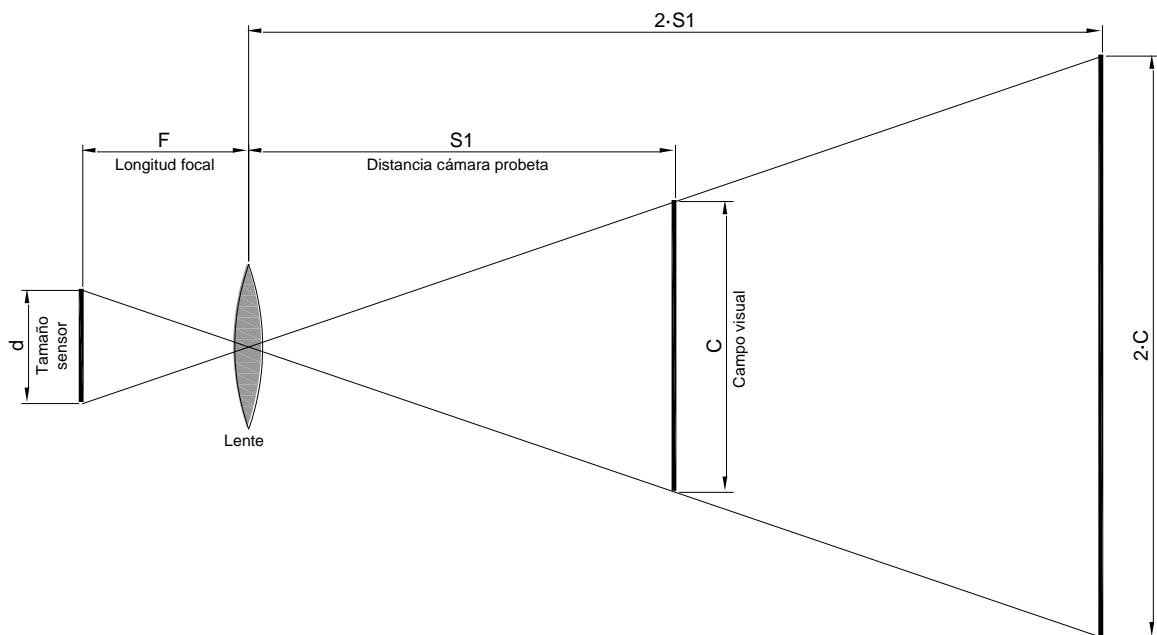


Figura F.1: Influencia de la resolución en el error de la técnica fotogramétrica

La resolución (r) depende de dos factores: de los píxeles del sensor y de lo grande que sea la región que se esté fotografiando. Así, esta resolución no es más que el cociente entre el número de píxeles del sensor y las dimensiones del campo visual que se esté fotografiando (considerándose en lo sucesivo que se expresa en milímetros). Puesto que el sensor es rectangular se podrá hacer la operación tanto en horizontal como en vertical, obteniendo en ambos casos el mismo valor de

resolución. Resulta más habitual referirse a la resolución con la que se fotografía una región mediante (r'), la inversa de la resolución, la cual vendrá expresada en mm/píxel.

Para un determinado equipo fotográfico y para un determinado procedimiento fotogramétrico de post-procesado, el error global del procedimiento (e) será constante y no podremos actuar sobre él para modificar la precisión (p). Por tanto sólo se podrá actuar sobre la resolución (r). Al ser el número de píxeles del sensor también constante para una determinada cámara, la única variable con la que podemos modificar la precisión obtenida será ampliar o reducir el campo visual fotografiado.

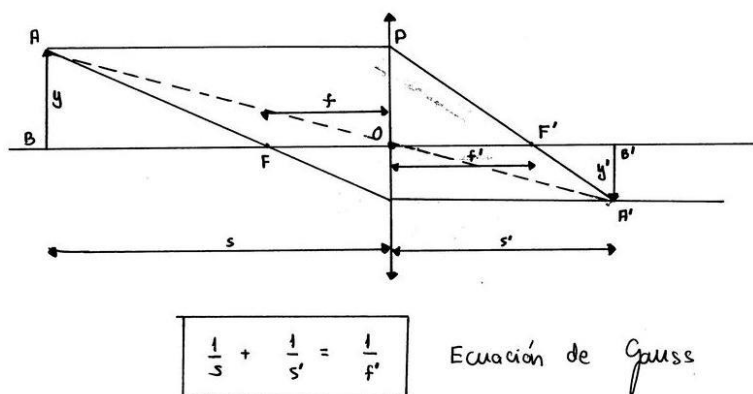


Figura F.2: Ecuación de Gauss para lentes delgadas convergentes

Una vez decidido el campo visual para hacerlo compatible con la precisión (p) deseada, resulta útil determinar la distancia a la que se debe disponer la cámara fotográfica respecto a la superficie que se esté ensayando. De esta forma se puede verificar, conocida la longitud focal (f') con la que se esté trabajando, si esta distancia es compatible con el espacio de laboratorio disponible. Para determinar la distancia, es de aplicación la ecuación de Gauss de lentes delgadas convergentes (véase Figura F.2).

Puesto que usualmente la longitud lente-objeto (s) es muy superior a la longitud focal (f'), es posible aplicar la aproximación indicada en la Figura F.3, con la que se puede obtener el ángulo de campo vertical (ω_V) y horizontal (ω_H). A partir de dichos ángulos es inmediata la determinación de la distancia a la que debe situarse la cámara.

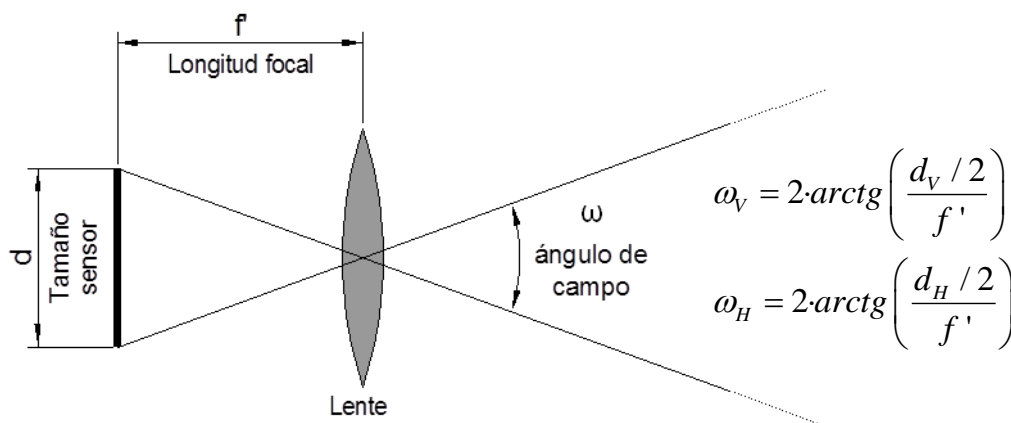


Figura F.3: Obtención del ángulo de campo

En las ecuaciones anteriores d_v es el tamaño físico del sensor de la cámara fotográfica en vertical y d_H es el tamaño físico del sensor de la cámara fotográfica en horizontal. La longitud focal (f) será fija en objetivos de focal fija, y será variable en objetivos tipo “zoom”³⁷, lo cual nos permite en estos casos situar la cámara a distintas distancias obteniendo en todos los casos el mismo campo.

F.2.2 Error global del procedimiento

El error global del procedimiento resulta de la acumulación de errores en dos procesos: la detección del patrón de seguimiento y la modelización de la cámara. La modelización de la cámara recoge a su vez tanto la proyectividad como la corrección de distorsiones. Se pasa a hablar de los errores cometidos en estos procesos.

A. Error en métodos de detección de seguimiento de patrones (ensayo estático)

El primer paso del post-proceso fotogramétrico seguido consiste en determinar la posición de cada uno de los puntos de medida en las distintas imágenes tomadas. Para ello es necesario tomar una imagen de referencia, seleccionar los patrones de referencia (regiones de la imagen alrededor de los puntos de medida), y mediante técnicas de fotogrametría interpretativa detectar los patrones en las distintas imágenes de seguimiento (véase Figura F.4).

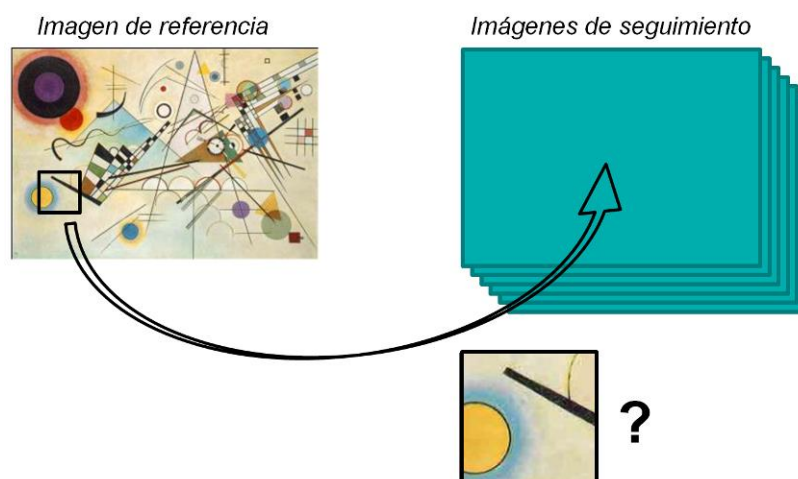


Figura F.4: Seguimiento de patrones

Los métodos de detección de un patrón de seguimiento tienen una precisión muy elevada. Para determinarla se han realizado una serie de ensayos en los que se toman una serie de fotografías a una probeta estática, analizándose a posteriori el movimiento de una serie de puntos situados en toda la probeta. La longitud relativa entre puntos respecto a la longitud en la imagen de referencia no es exactamente la misma. Por este motivo se toma la medida de longitud media de las distintas determinaciones y se analiza la desviación de cada medición respecto a ella (ΔL), tal y como se muestra a modo de ejemplo para uno de los ensayos realizados en la Figura F.5.

³⁷ Más adelante se comentará que son preferibles los objetivos de focal fija y que en caso de emplear objetivos tipo “zoom” no es recomendable emplear las longitudes focales extremas.

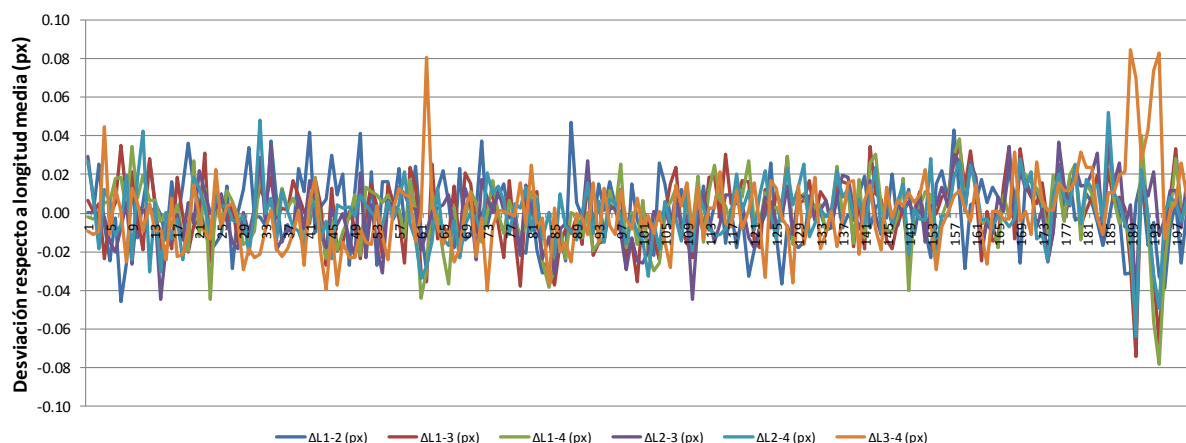


Figura F.5: Variación de longitud entre 2 puntos respecto a longitud media (ensayo textura negra, resolución 0.1 mm/px, sin foco halógeno)

De los ensayos estáticos anteriores se extrae como variable identificativa del error de detección el intervalo de confianza del 95% de ΔL . Para definir las distintas configuraciones del equipo fotográfico a adoptar en la campaña experimental se realizaron una serie de ensayos para analizar la influencia de distintos aspectos que se consideraban podían tener alguna influencia en el error del método de detección: la resolución con la que se fotografía la región (r), el tamaño del lado del patrón de seguimiento, la iluminación, el patrón de textura superficial (véase Fotografía F.1), así como la configuración de balance de blancos. Los resultados obtenidos se sintetizan en la Tabla F.1. Cabe destacar que los resultados sólo se pueden comparar relativamente dentro de la variable estudiada, dado que entre distintos ensayos puede haber terceras variables no homogéneas (así la influencia del balance de blancos da unos resultados globalmente bajos dado que en este ensayo el resto de variables se han dispuesto con su valor óptimo de cara a la minimización del error).

Tabla F.1: Influencia de variables en el error de detección de seguimiento de patrones

Resolución		Tamaño patrón		Iluminación		Textura superficial		Balance de blancos	
1/resol. (mm/px)	ΔL (px)	Lado (px)	ΔL (px)	Foco halógeno?	ΔL (px)	Tipo de moteado	ΔL (px)	WB	ΔL (px)
0.10	0.0421	100	0.0453	Sí	0.0402	Ninguno	0.0623	Autom.	0.0293
0.05	0.0427	200	0.0469	No	0.0446	Negro	0.0345	Incand.	0.0275
		300	0.0388			ByN	0.0304		

De los ensayos realizados cabe destacar las siguientes conclusiones respecto al error en la detección de patrones:

- No hay diferencias en el error en función de la resolución adoptada para el rango ensayado, ni en función del balance de blancos.
- La disposición de una buena iluminación artificial reduce ligeramente el error. En caso de que se produzcan variaciones de la luz ambiente o sombras, la mejora es muy sustancial.
- Al considerar un patrón de seguimiento mayor, el sistema tiene más información y llega a detecciones algo más precisas. El aumento de la precisión puede no compensar el

hecho de que con patrones grandes es probable que aparezcan fisuras en la región de seguimiento invalidando las mediciones.

- El aspecto que tiene más relevancia en el error del proceso es la textura superficial. Además, una textura bien contrastada permite en caso de cambios accidentales en la luminosidad no perder los patrones de seguimiento.



Fotografía F.1: Distintos patrones de textura superficial

En base a todo ello puede concluirse que resulta relevante crear una textura superficial en el hormigón a base de un patrón estocástico, al menos en color negro, y trabajar con una buena iluminación artificial. En la campaña experimental se emplea una textura en blanco y negro como la que se muestra en la Fotografía F.1, consiguiéndose un error de detección del orden de 1/32 píxeles con un intervalo de confianza del 95%.

B. Modelización de cámara: error de proyectividad

Las imágenes se proyectan en el sensor de la cámara (véase Figura F.6). En caso de que la cámara no se disponga de manera perfectamente paralela a la superficie a medir resulta imprescindible considerar la proyectividad.

En caso de que medir simplemente escalando la imagen en base a unas distancias de referencia, resultará especialmente importante disponer la cámara paralela a la superficie de medida. La disposición siempre será imperfecta y se generará un error de proyectividad, que se evitaría empleando un modelo de cámara adecuado.

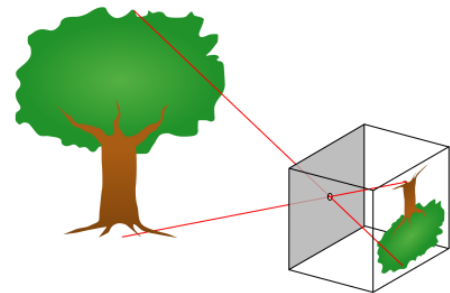


Figura F.6: Proyectividad

C. Modelización de cámara: error de distorsiones

El principio de proyectividad que indica que las líneas rectas se proyectan rectas en un plano no se cumple en las cámaras fotográficas. Las distorsiones son debidas fundamentalmente a las imperfecciones del sistema de lentes que equipa los objetivos. A modo de ejemplo en la Figura F.7 se observa una fotografía de una rejilla perfecta: a simple vista se observa que hay una gran distorsión en la foto. Suponiendo que una pieza de hormigón inicialmente dispuesta en el centro de la imagen de la Figura F.7 sufriese un desplazamiento de sólido rígido hasta la parte superior de la misma, un análisis fotogramétrico burdo daría como resultado que la pieza ha sufrido una deformación de compresión de más del 18 %. Las elevadas deformaciones obtenidas, en comparación con las deformaciones muy

inferiores que alcanza el hormigón, da una idea de la importancia que tiene hacer un análisis con un modelo de cámara que considere adecuadamente las distorsiones.

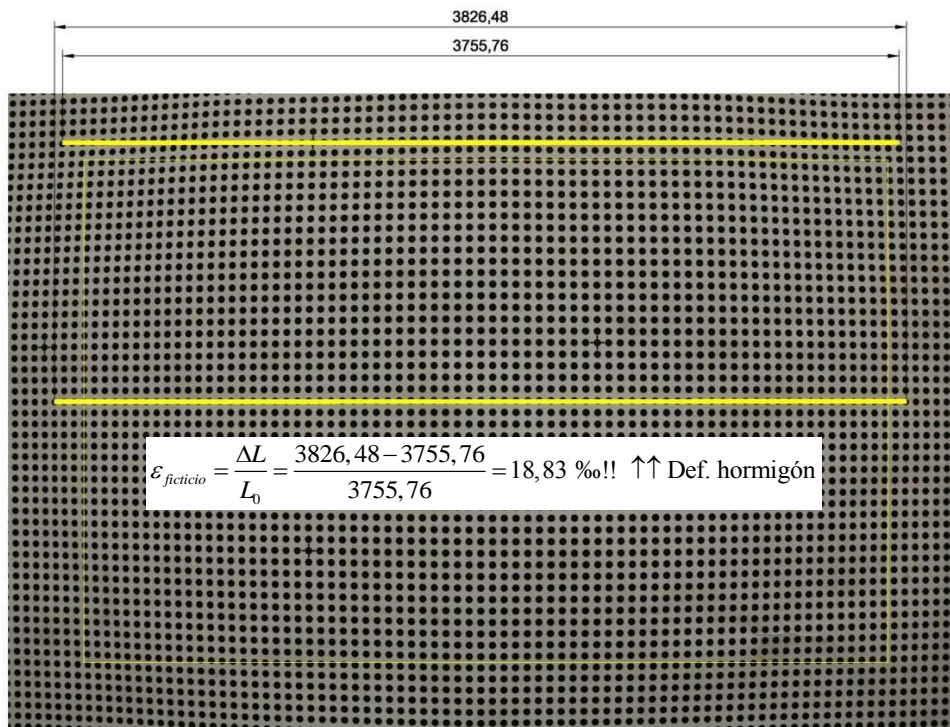


Figura F.7: Error por distorsiones

El error debido a las distorsiones depende de distintos factores, como son:

- El tipo de desplazamiento que sufra la probeta que se esté analizando. Puesto que el gradiente de las distorsiones es reducido, cuanto menor sea el movimiento de sólido rígido que sufra la pieza que se registre, menor importancia tendrán las distorsiones. Por ejemplo, en el caso de analizar la retracción producida durante el fraguado de una pieza de hormigón, se obtendrán resultados muy precisos incluso sin hacer corrección de distorsiones.
- El tipo de objetivo usado en el equipo fotogramétrico. Hay objetivos que distorsionan más que otros. En general los objetivos de focal fija son los que dan menores distorsiones, siempre que exceptuemos los casos extremos de grandes angulares y teleobjetivos.
- La variable fundamental que rige el error debido a las distorsiones será el tipo de modelo de cámara que se emplee para corregir las distorsiones.

Respecto a los procedimientos y modelos para corregir las distorsiones, hay infinidad de ellos, implementados junto con las transformaciones de proyectividad previamente descritas tanto en programas comerciales como en librerías gratuitas. A grandes rasgos las distorsiones más habituales son las siguientes:

- Radial (véase Figura F.8.a): depende de la distancia al centro de la imagen. Habitualmente es la que contribuye en mayor medida en la distorsión global.

- Tangencial (véase Figura F.8.b): depende de la distancia al centro de la imagen y del ángulo.

Existen varias propuestas para modelizar las distorsiones, consistentes en funciones polinómicas de mayor o menor grado.

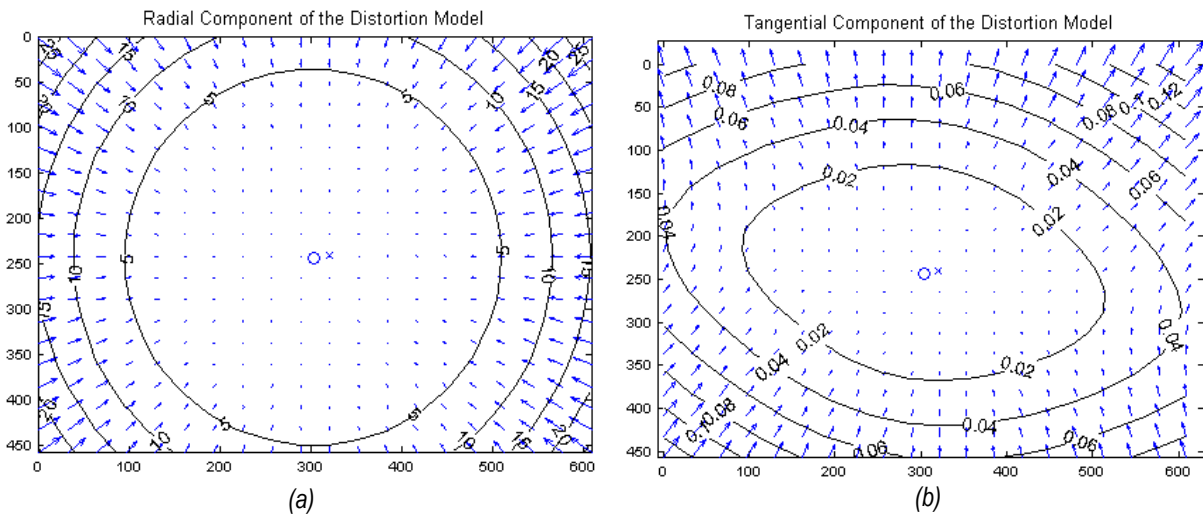


Figura F.8: Ejemplo de funciones de distorsión mediante Complete Camera Calibration Toolbox for Matlab: (a) Distorsión radial; (b) Distorsión tangencial

F.3 Cálculo del error global del procedimiento

En el apartado F.2.2 se han indicado los factores que conforman el error global del procedimiento, pero sólo se ha determinado el orden de magnitud del error de seguimiento de patrones, el cual se sitúa en el entorno de 1/32 píxeles. El error global del procedimiento será bastante superior a éste, puesto que está condicionado fundamentalmente por las otras dos componentes.

F.3.1 Procedimientos de reproyección

En ocasiones los modelos empleados para la modelización de las cámaras llevan procedimientos internos para la obtención del error de la medición, generalmente dependiente de la posición dentro de la imagen, dado que, como se observa en la Figura F.8, las distorsiones son más elevadas en la periferia de las imágenes.

Estos procedimientos suelen estar basados en calibraciones del modelo de cámara mediante procedimientos como el de Zhang [76] o similares. En el procedimiento de Zhang (véase Figura F.9) se realizan una serie de fotografías de una misma rejilla plana desde distintos puntos de vista y distancias. A partir de ellas, mediante un proceso de optimización, se obtienen los parámetros intrínsecos de la cámara (distorsiones) y extrínsecos para cada una de las fotografías que minimizan el error cuadrático medio de reproyección. De esta forma se tiene la estimación del error del procedimiento.

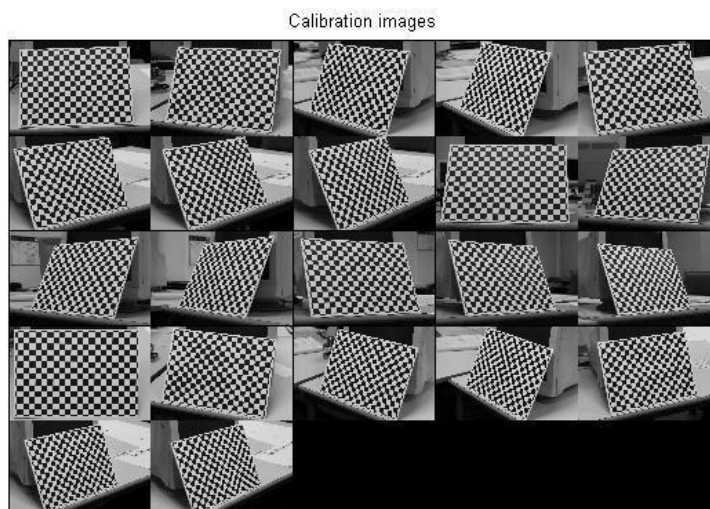


Figura F.9: Calibración del modelo de cámara. Método de Zhang [76]

F.3.2 Propuesta experimental para la determinación del error global del procedimiento

En ocasiones, bien porque el software empleado³⁸ no contemple la estimación del error global, o porque se esté desarrollando un procedimiento propio que tampoco lo permita, será necesario estimar el error global mediante un procedimiento alternativo. A estos efectos se plantea a continuación una propuesta para determinar experimentalmente el error global del procedimiento.

El ensayo consiste en registrar fotogramétricamente el movimiento plano de una superficie de hormigón, en las mismas condiciones a las del ensayo real (textura superficial, luz, resolución...). Al ser un movimiento de sólido rígido las distancias entre dos puntos cualesquiera deberían permanecer invariantes a lo largo del ensayo. Las desviaciones son representativas del error global del procedimiento. El intervalo de confianza del 95% de las variaciones respecto a la longitud media es un buen indicador del error global del procedimiento. Dicho error del procedimiento será dependiente del tipo de movimiento aplicado a la probeta y de lo centrada o no que esté la región de medición en la fotografía.

³⁸ A modo de ejemplo el módulo Vision Assistant de National Instruments contiene un procedimiento para calibración de distorsiones, que consiste en una calibración a partir de una única rejilla. Éste procedimiento no describe los métodos internos de calibración de distorsiones ni especifica el error global del procedimiento obtenido en la calibración.

Anejo G

Descripción de postproceso de resultados

En este anejo se explica el procedimiento seguido y las hipótesis consideradas para la obtención de los distintos resultados de las fichas de ensayos.

G.1 Puntos representativos de las gráficas

En todas las gráficas en las que se representa la carga en el apoyo, se grafian cinco líneas discontinuas que marcan lo que se denominan *puntos representativos*. En la Figura IV.2 se mostró un ejemplo de esas líneas, así como su denominación. Las dos primeras líneas discontinuas en gris representan el inicio de la fisuración (carga de fisuración) y el denominado punto de cambio de rigidez. A continuación se representa una línea en naranja que representa la carga para la cual se obtiene una abertura de fisura de 0.4 mm. Las dos últimas líneas representan, respectivamente, la carga para la que se produce la primera plastificación de las armaduras principales, y la carga máxima alcanzada en el ensayo. Si no plastifica ninguna armadura antes de la rotura se omite la línea correspondiente.

La determinación de los puntos representativos es inmediata a excepción de los dos primeros que pasa a detallarse.

G.1.1 Inicio de fisuración

La determinación de la carga para la que se produce la fisuración se lleva a cabo mediante los resultados de las deformaciones de las galgas de hormigón. Se establece el criterio de que la pieza fisura cuando se supere en un 50% la deformación en tracción máxima del hormigón, determinada según la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{fis} = \frac{f_{ct}}{E_{ct}} = \frac{f_{ct}}{21.000 \sqrt[3]{f_c/10}}$$

donde:

ε_{fis}	deformación asociada a la resistencia a tracción del hormigón
f_{ct}	resistencia tracción del hormigón (experimental)
E_{ct}	módulo de elasticidad en tracción del hormigón, tomando del Código Modelo 2010 [13]
f_c	resistencia a compresión del hormigón (experimental)

G.1.2 Punto de cambio de rigidez

A partir del punto de fisuración se observa una pérdida progresiva de la rigidez en las gráficas de deformaciones de las armaduras principales. La rigidez se estabiliza a partir de un determinado punto, que se denomina *punto de cambio de rigidez* (véase Figura G.1). No pudo objetivarse un criterio para detectar este punto. Finalmente se ha determinado mediante una inspección visual del tramo inicial de las gráficas de las armaduras principales (horizontal, vertical e inclinada).

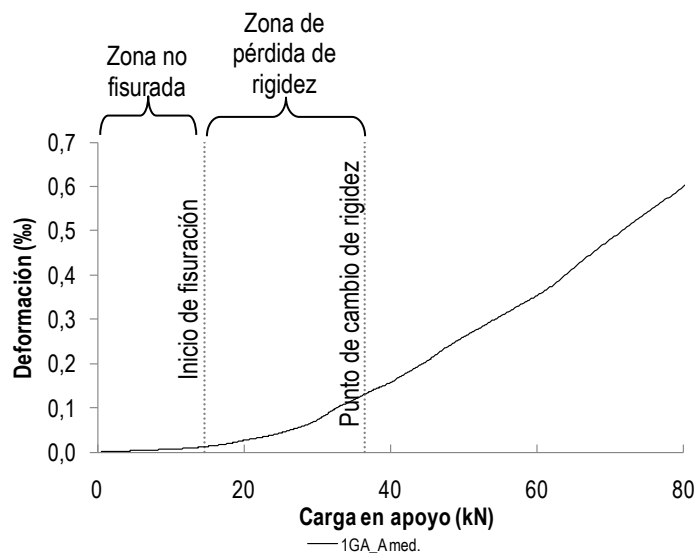


Figura G.1: Determinación de punto de cambio de rigidez. Armadura horizontal. DEB-2.2 (T1)

G.2 Deformaciones

Las deformaciones son un resultado directo de los ensayos, obtenido a partir de las galgas extensométricas dispuestas. Se expresan como alargamiento unitario en tanto por mil, considerando positivas las tracciones.

G.3 Flecha

La flecha representa en todos los ensayos la flecha bajo el punto de aplicación de la carga. Los resultados de flechas no son comparables entre los ensayos simétricos y los ensayos con apoyo intermedio en que se ensayan de manera totalmente independiente cada uno de los apoyos de las piezas.

Para descontar la influencia de la deformabilidad vertical de los apoyos en la flecha se reduce de las mediciones de los transductores el movimiento de sólido rígido asociado a la deformabilidad de los apoyos (véase Figura G.2).

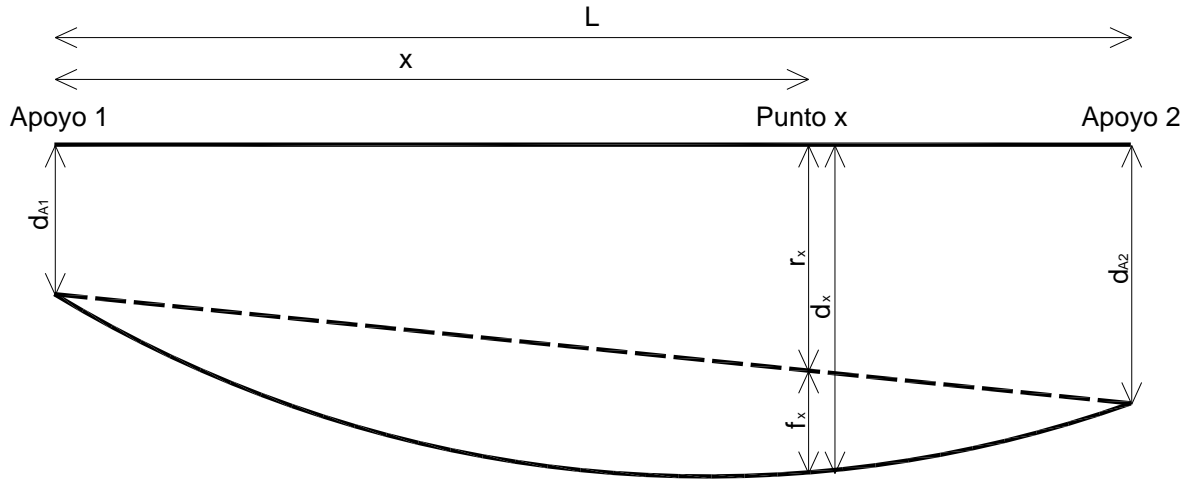


Figura G.2: Esquema del movimiento de sólido rígido de la viga por descenso de los apoyos

La obtención de la flecha, en un punto cualquiera x de la viga, se realiza según lo indicado en las siguientes expresiones:

$$f_x = d_x - r_x$$

$$r_x = d_{A1} - (d_{A2} - d_{A1}) \cdot \frac{x}{L}$$

donde:

- f_x flecha en el punto a calcular (x)
- d_x medida del transductor en el punto x
- r_x movimiento de sólido rígido en el punto x
- d_{A1} descenso del apoyo 1
- d_{A2} descenso del apoyo 2
- x distancia del apoyo 1 al punto x
- L distancia entre apoyos

En la Figura G.3 se muestra un ejemplo con las mediciones de los transductores (en rojo el situado bajo la aplicación de la carga) y la flecha obtenida al descontar el movimiento de sólido rígido; es muy destacable la influencia de la deformabilidad de los apoyos. Se observa un comportamiento de rigidización por deformación en las medidas de los apoyos (1CD_S1 y 2CD_S1), típico de los neoprenos.

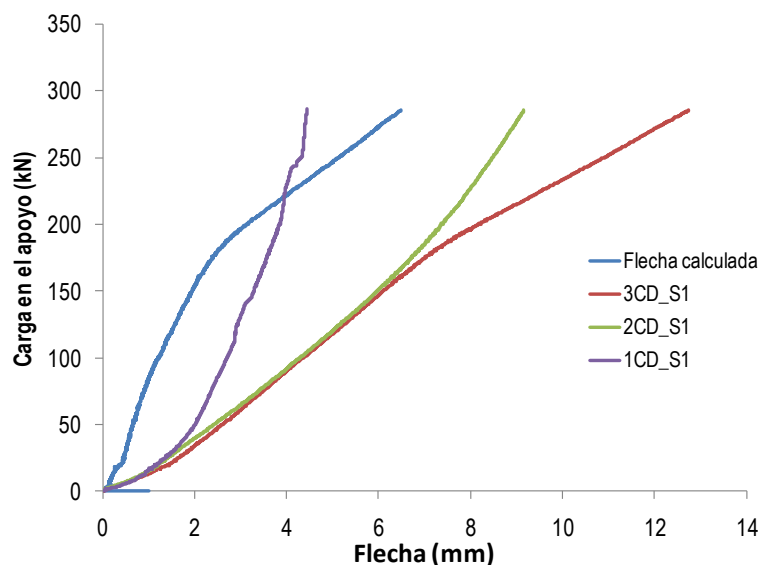


Figura G.3: Flecha y datos de captadores

G.4 Abertura de fisura

Todo lo referente a la determinación de las aberturas de fisura mediante la técnica fotogramétrica se encuentra detallado en los apartados específicos que abordan el empleo de dicha técnica (véase apartado III.5 y Anejo F).

G.5 Tensiones

Las tensiones en las armaduras se obtienen a partir de las deformaciones medias en las mismas y suponiendo³⁹ un diagrama bilineal del acero con rama de endurecimiento, como el indicado en la Figura G.4. A partir de los resultados del límite elástico (f_y) y la tensión máxima obtenidas en los ensayos (f_{max}), y suponiendo una pendiente del tramo elástico de 200.000 MPa (E_s) y una deformación máxima⁴⁰ de la armadura del 20‰ (ε_{max}), quedan definidos los demás parámetros que definen el diagrama, según las siguientes expresiones:

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad (\text{VIII.1})$$

$$E_p = \frac{f_{max} - f_y}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_y} \quad (\text{VIII.2})$$

donde:

ε_y deformación de plastificación de la armadura

³⁹ El equipo de ensayo empleado para hacer los ensayos de caract. del acero da una elevada deformabilidad del acero en su rama elástica debido a deslizamientos producidos en el sistema de agarre de las barras. Por este motivo resulta más exacto suponer un diagrama simplificado a partir de los datos de límite elástico y carga máxima obtenidos en los ensayos.

⁴⁰ La deformación máxima del acero puede ser bastante superior, pero se toma este valor por ser ligeramente superior a la deformación máxima que son capaces de medir las galgas extensométricas (16‰).

E_p mód. de endurecimiento del acero

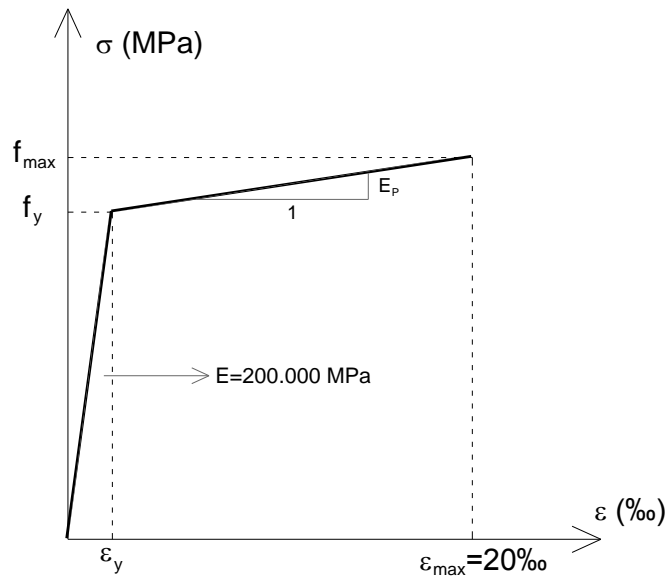


Figura G.4: Diagrama bilineal del acero

Puesto que se tienen unas características mecánicas de las armaduras para cada diámetro, también se tendrán distintos diagramas bilineales para los distintos diámetros. En los tirantes compuestos por barras de varios diámetros se hace un promedio de las características mecánicas, ponderado en función de las áreas de armado de cada uno de los diámetros.

G.6 Tracciones





Las tracciones en las barras o los tirantes se obtienen a partir de las tensiones, sin más que multiplicar la tensión por el área de la armadura.

Anejo H

Fichas de ensayos

En el presente anejo se muestran las distintas fichas asociadas a cada uno de los ensayos realizados. La organización de las fichas de ensayos se encuentra descrita en el apartado IV.1 del documento. En caso de estar usando el documento electrónico se recomienda usar los marcadores para navegar entre las distintas fichas. En las tablas resumen de resultados (Tabla IV.1 y Tabla IV.2) también hay vínculos que dirigen directamente a la ficha de cada ensayo.

H.1 DEB-1.1 (T1)

				FICHA: 1.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 15/07/2010
 Edad (días): 29

Factor de cuantía de armado: p49

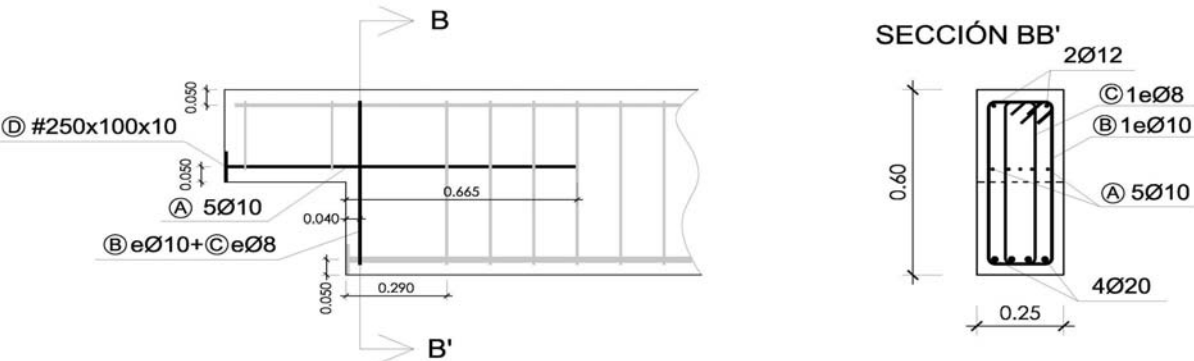
AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ10	Armado: 2φ10+2φ8	Armado: -
Área (cm ²): 3,93	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 40		
Variante 1: -		
Variante 2: -		
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras
41,1	3,15	0,00%
$f_{1,R}$ (Mpa)	$f_{3,R}$ (Mpa)	
-	-	

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 193,56
 V (w=0,4 mm) (kN): 67,91 35%
 Modo de fallo: SY+SP (H-V)

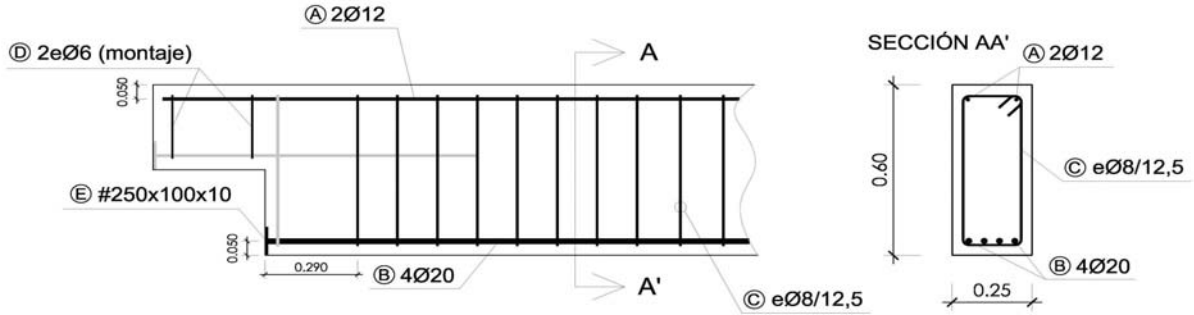
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

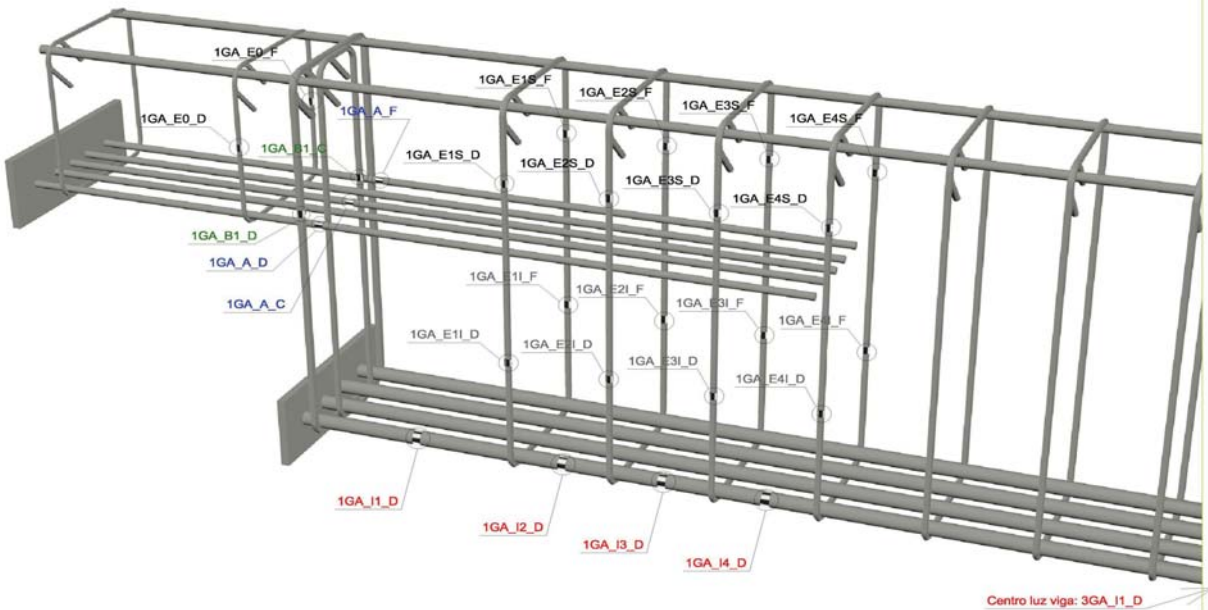
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.1

ENSAYO: **DEB-1.1 (T1)**

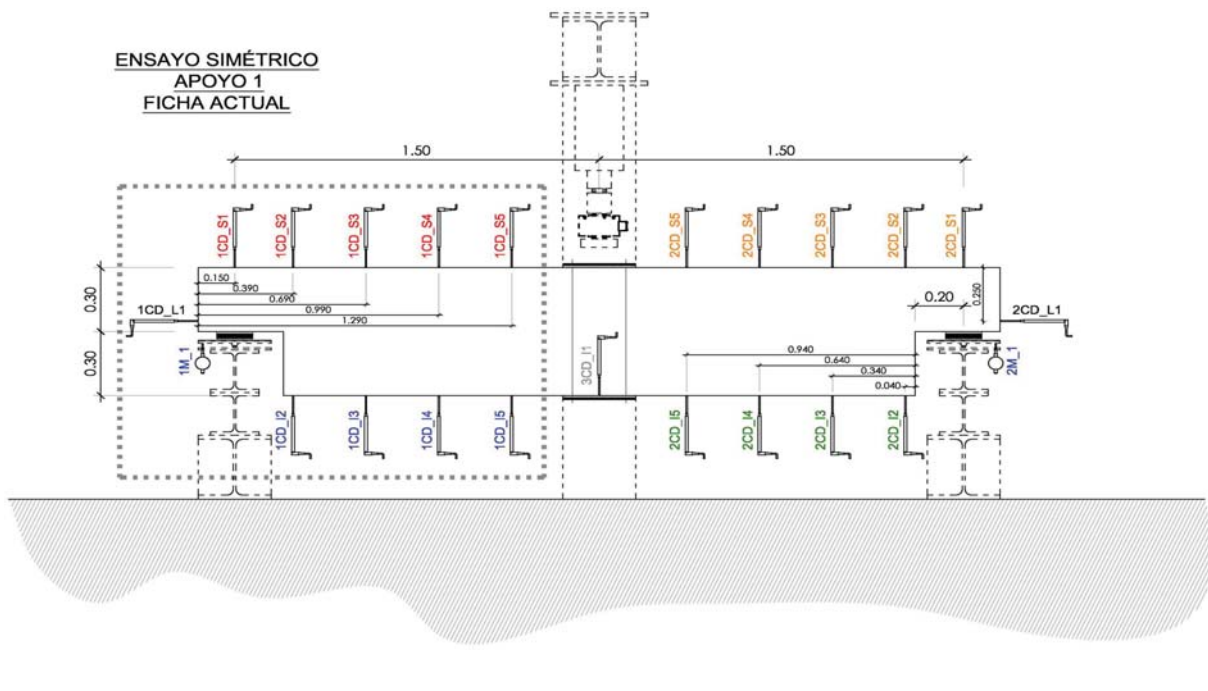
AUTOR: Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



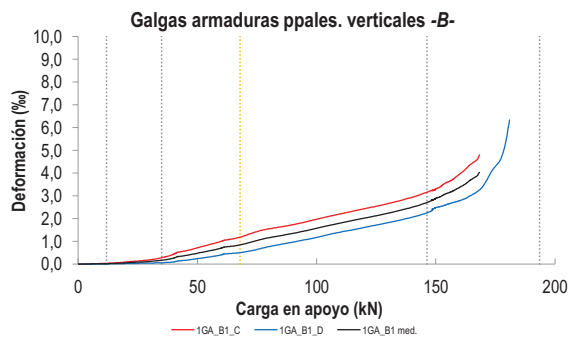
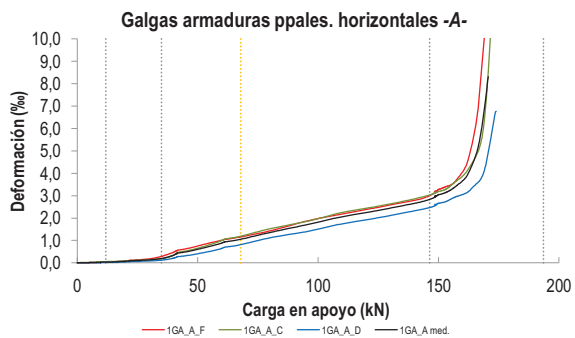
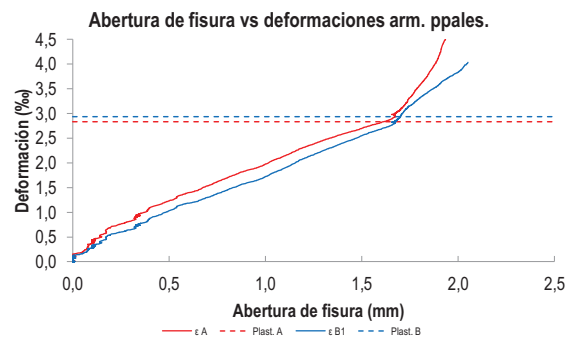
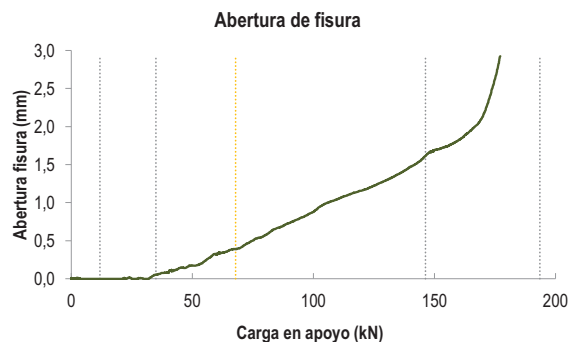
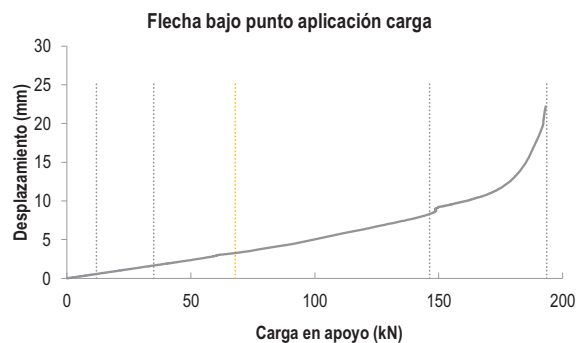
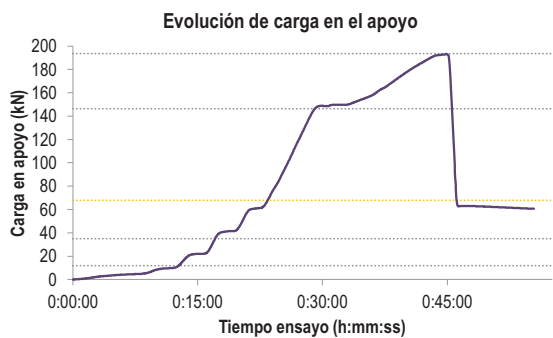
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 1.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

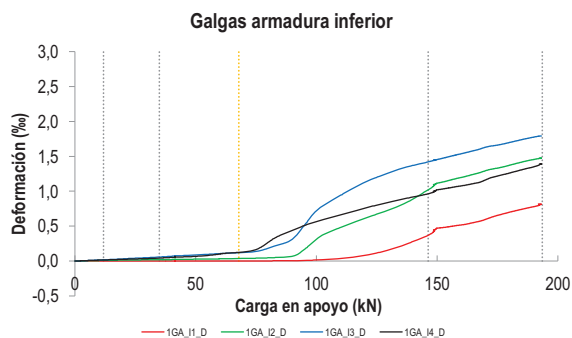
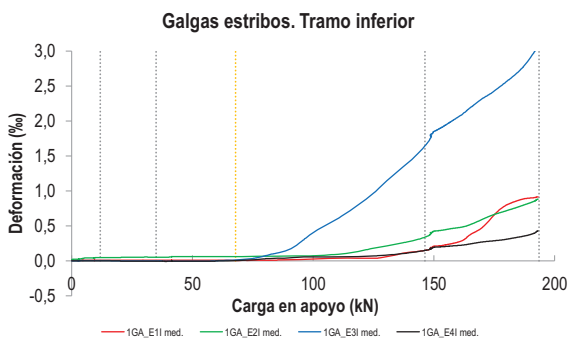
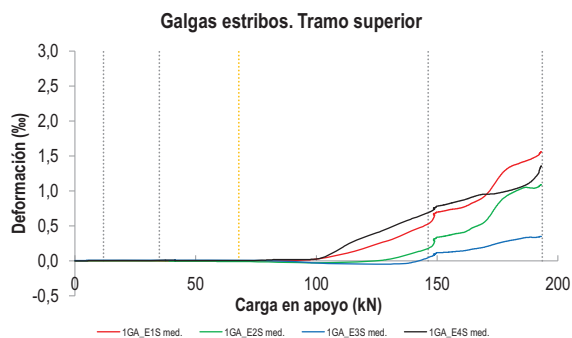
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

   		FICHA: 1.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

   		FICHA: 1.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.1 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
9,68	5%	0,00	0,46	0,03	0,01	-	-	-
19,36	10%	0,00	0,91	0,07	0,05	-	-	-
29,03	15%	0,00	1,37	0,13	0,11	-	-	-
38,71	20%	0,08	1,83	0,30	0,23	-	-	-
48,39	25%	0,16	2,28	0,56	0,44	-	-	-
58,07	30%	0,30	2,79	0,83	0,65	-	-	-
67,75	35%	0,39	3,26	1,05	0,84	-	-	-
77,42	40%	0,54	3,73	1,30	1,10	-	-	-
87,10	45%	0,69	4,23	1,52	1,29	-	-	-
96,78	50%	0,83	4,80	1,74	1,49	-	-	-
106,46	55%	1,00	5,49	1,98	1,73	-	-	-
116,14	60%	1,12	6,10	2,18	1,93	-	-	-
125,82	65%	1,23	6,75	2,36	2,14	-	-	-
135,49	70%	1,38	7,40	2,56	2,37	-	-	-
145,17	75%	1,60	8,25	2,82	2,68	-	-	-
154,85	80%	1,74	9,53	3,25	3,10	-	-	-
164,53	85%	1,93	10,30	4,56	3,67	-	-	-
174,21	90%	2,52	11,56	-	-	-	-	-
183,88	95%	-	14,51	-	-	-	-	-
193,56	100%	-	20,21	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

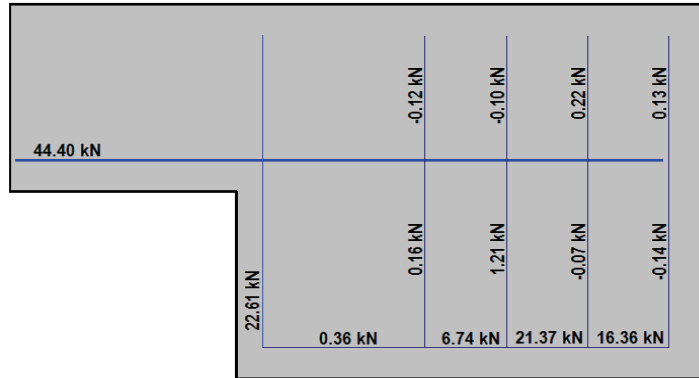
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	11,88	6,1%	0,00	0,56	0,03	0,02	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	35,00	18,1%	0,05	1,65	0,20	0,17	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	53,46	27,6%	0,20	2,53	0,69	0,55	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	67,91	35,1%	0,40	3,27	1,06	0,84	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	81,05	41,9%	0,60	3,93	1,38	1,17	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	94,51	48,8%	0,80	4,64	1,68	1,44	-	-	-
Primera plastificación	146,32	75,6%	1,65	8,67	2,93	2,79	-	-	-

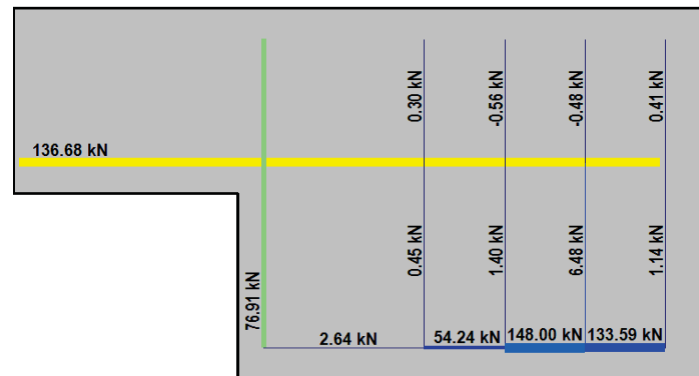
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

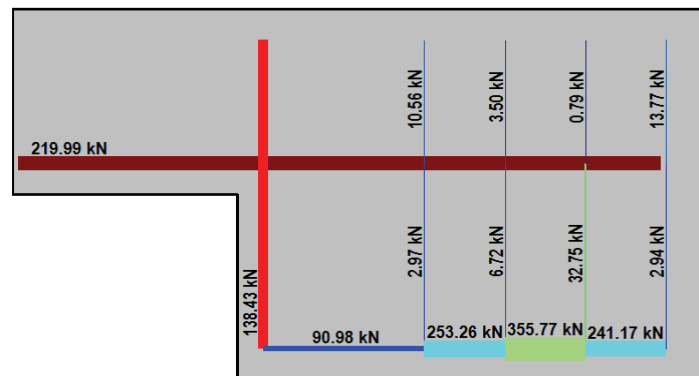
V (kN): 48,39
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,16



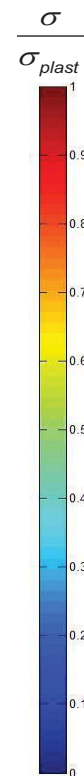
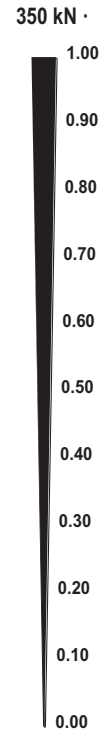
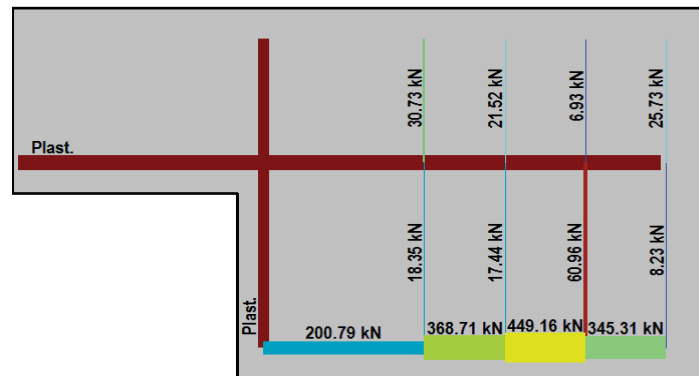
V (kN): 96,78
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,83



V (kN): 145,17
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,60



V (kN): 193,56
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): -



 		 		FICHA: 1.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.1 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO AL 92% DE LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha está ligeramente más dañado que el apoyo contrario, pero puede considerarse que el colapso se produce de manera simultánea en ambos apoyos.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con el tirante vertical verticalizarse ligeramente hasta los 60° respecto a la horizontal y acabar finalmente arqueándose hasta horizontalizarse situándose paralela a la armadura superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º horizontal - 2º vertical, pero prácticamente a la misma carga
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

H.2 DEB-1.1 (T2)

				FICHA: 2.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 15/07/2010
 Edad (días): 29

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ10	Armado: 2φ10+2φ8	Armado: -
Área (cm ²): 3,93	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 40		

Variante 1: -
 Variante 2: -

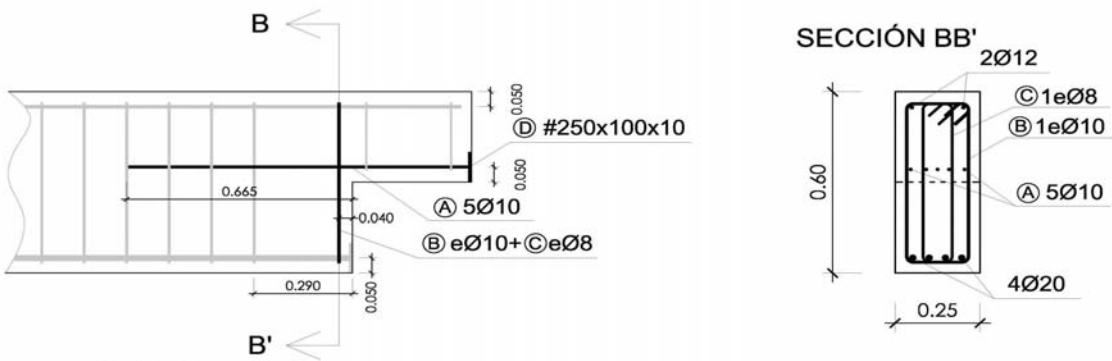
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
41,1	3,15	0,00%	- -

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 193,56
 V (w=0,4 mm) (kN): 69,93 36%
 Modo de fallo: SY (V-H)

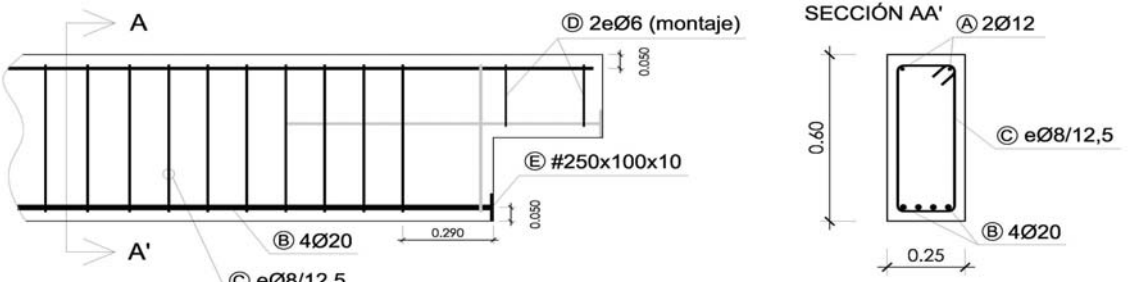
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



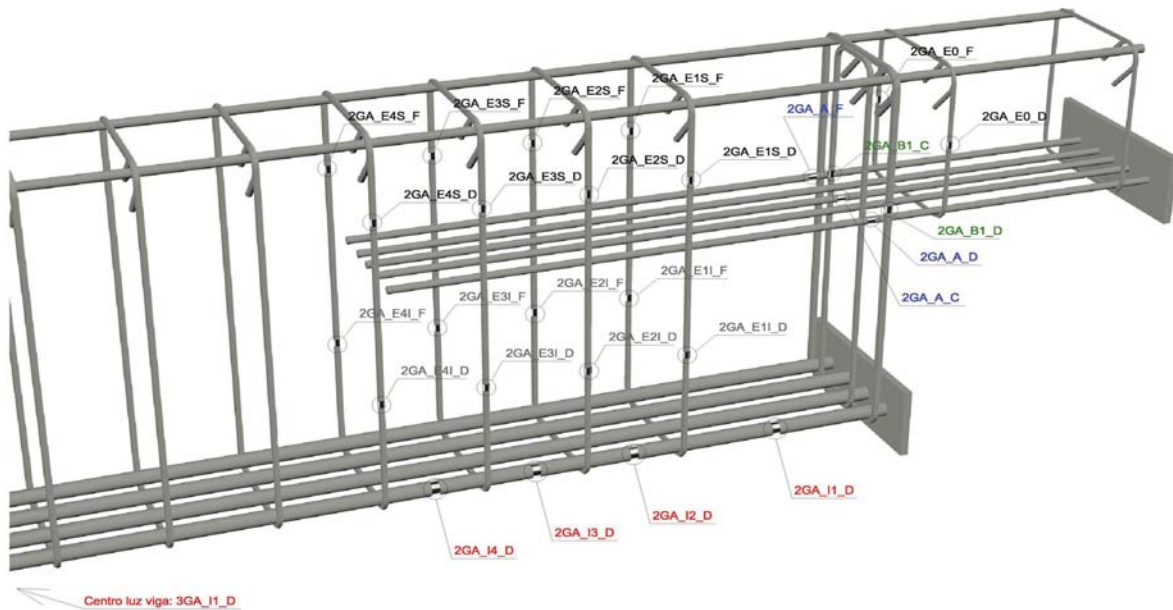
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

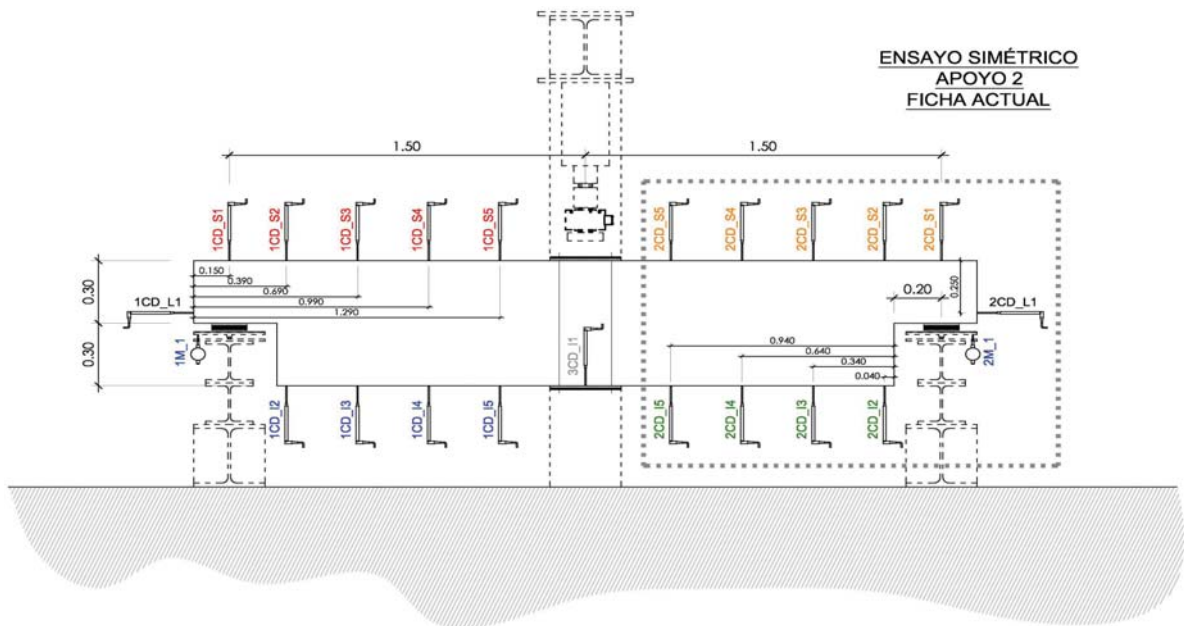
ENSAYO: **DEB-1.1 (T2)**

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



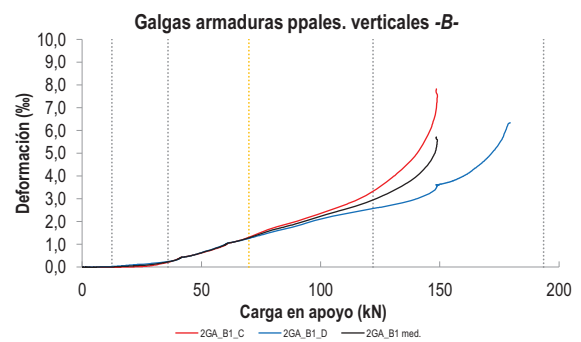
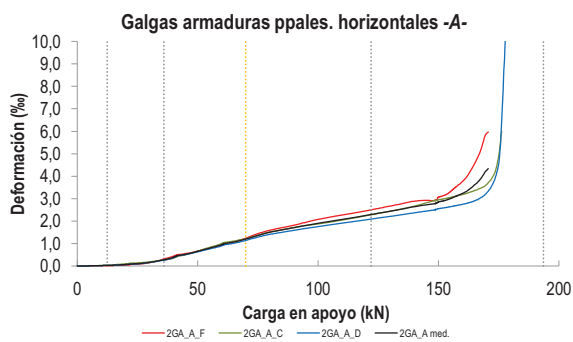
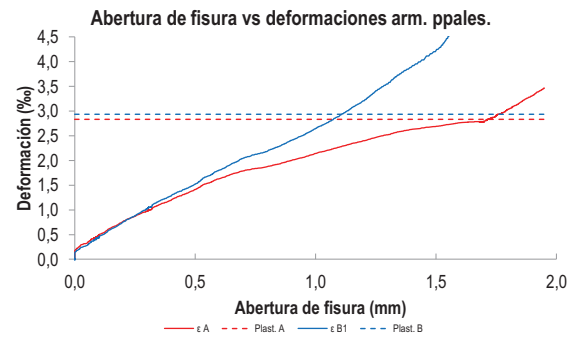
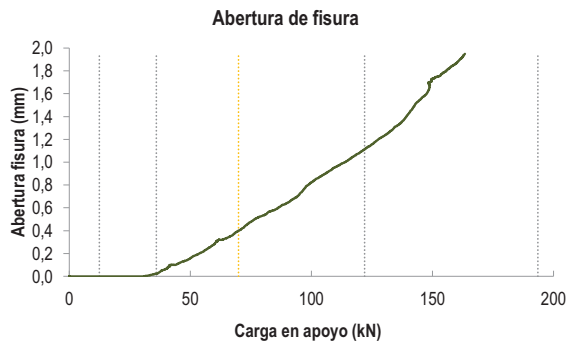
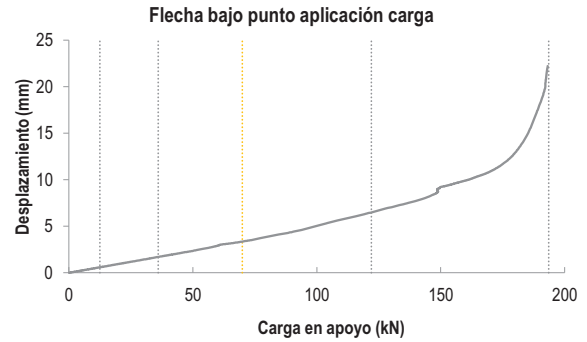
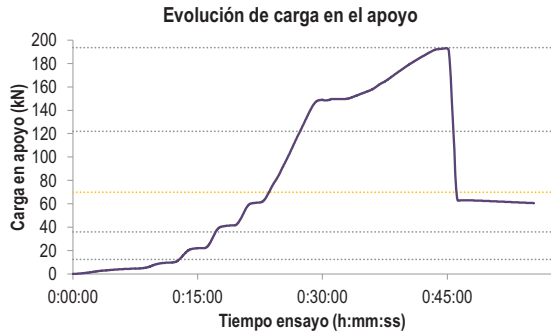
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



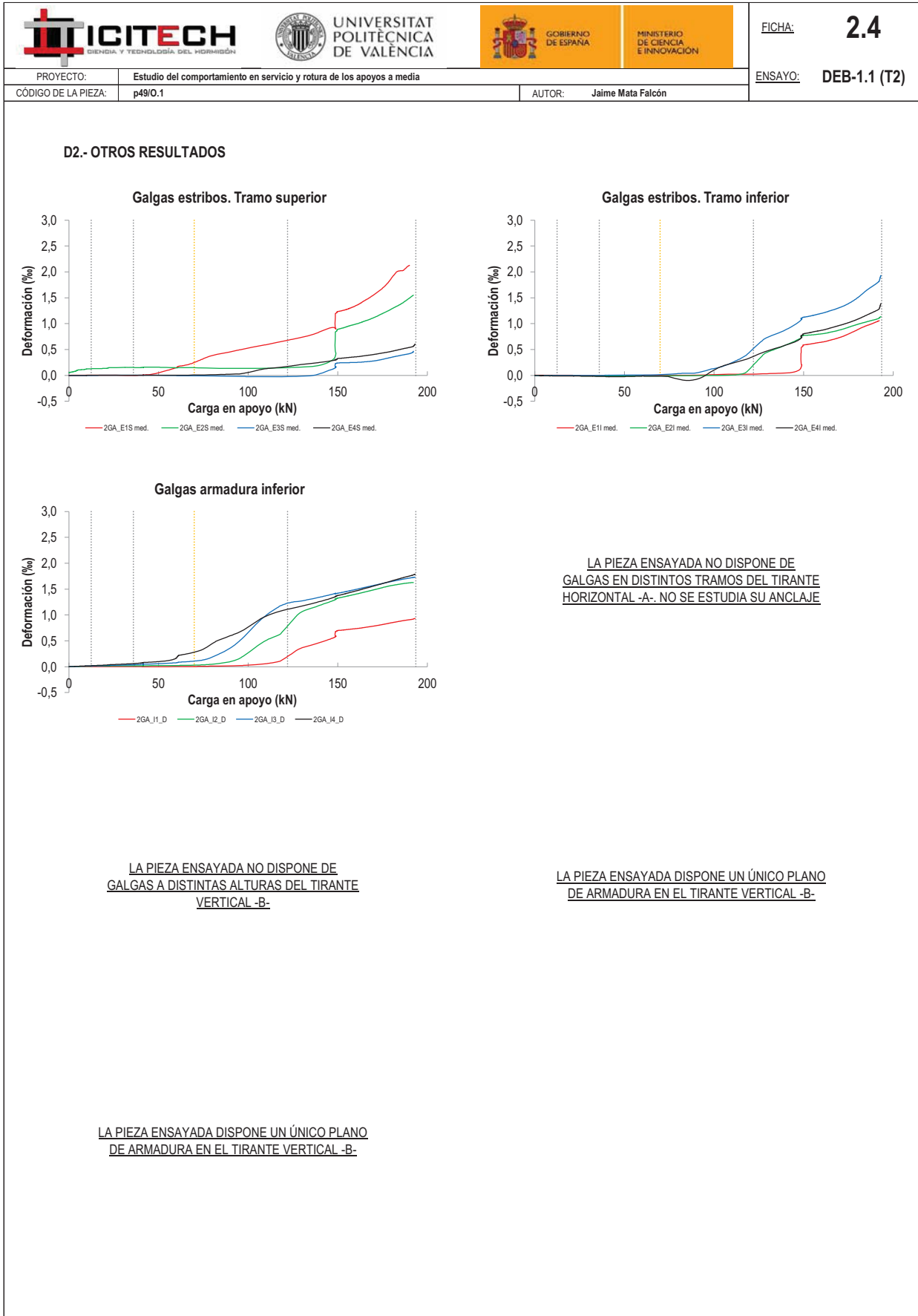
   		FICHA: 2.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 2.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

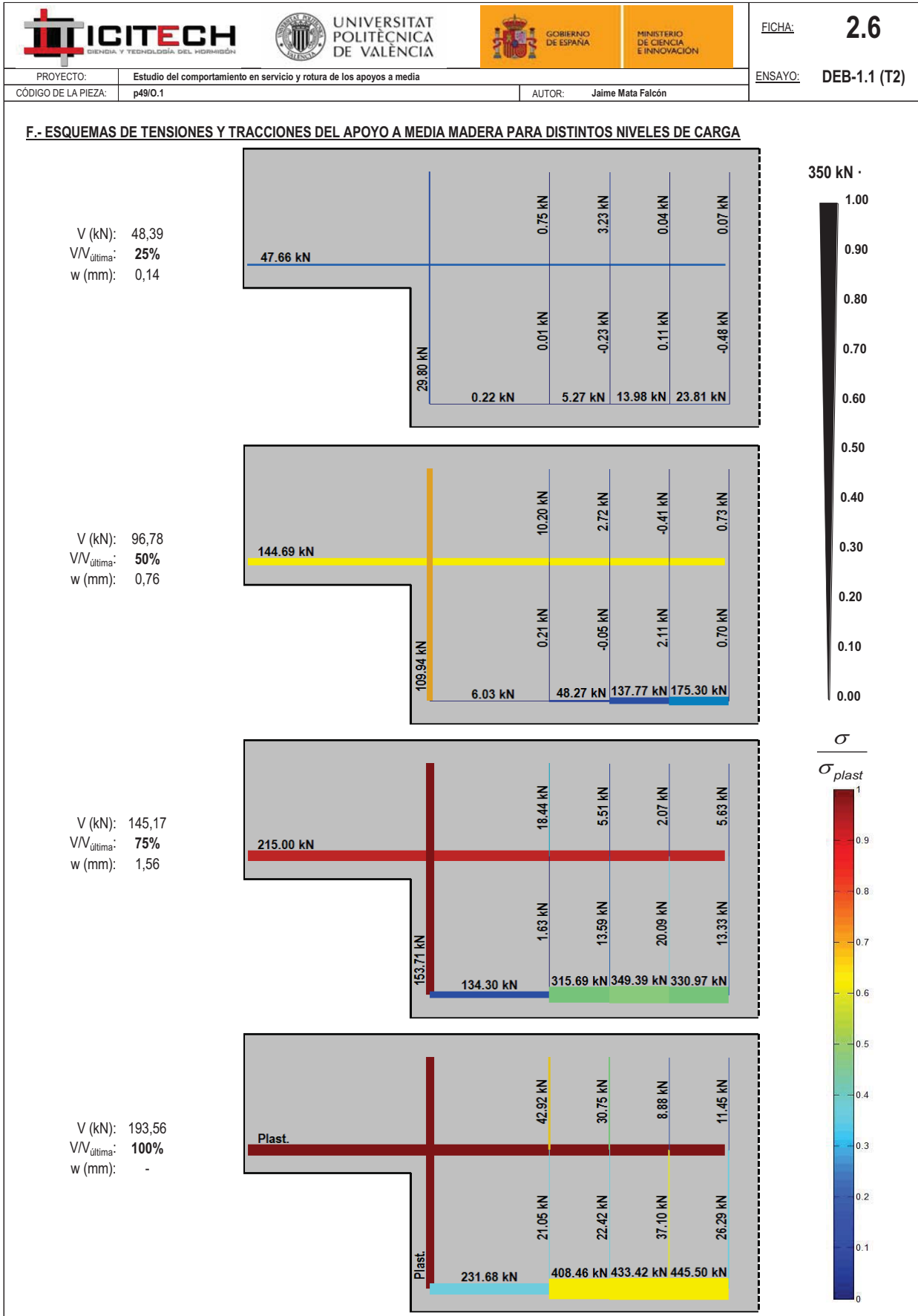
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
9,68	5%	0,00	0,46	0,02	0,01	-	-	-
19,36	10%	0,00	0,91	0,06	0,04	-	-	-
29,03	15%	0,00	1,37	0,15	0,11	-	-	-
38,71	20%	0,05	1,83	0,35	0,30	-	-	-
48,39	25%	0,14	2,28	0,61	0,58	-	-	-
58,07	30%	0,26	2,79	0,89	0,90	-	-	-
67,75	35%	0,37	3,26	1,14	1,21	-	-	-
77,42	40%	0,51	3,73	1,44	1,55	-	-	-
87,10	45%	0,61	4,23	1,65	1,83	-	-	-
96,78	50%	0,76	4,80	1,84	2,13	-	-	-
106,46	55%	0,91	5,49	2,01	2,43	-	-	-
116,14	60%	1,03	6,10	2,18	2,73	-	-	-
125,82	65%	1,17	6,75	2,36	3,12	-	-	-
135,49	70%	1,32	7,40	2,55	3,64	-	-	-
145,17	75%	1,56	8,25	2,74	4,62	-	-	-
154,85	80%	1,79	9,53	3,00	-	-	-	-
164,53	85%	1,92	10,30	3,56	-	-	-	-
174,21	90%	-	11,56	-	-	-	-	-
183,88	95%	-	14,51	-	-	-	-	-
193,56	100%	-	20,21	-	-	-	-	-




 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	12,46	6,4%	0,00	0,59	0,03	0,01	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	36,00	18,6%	0,02	1,70	0,28	0,23	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	53,68	27,7%	0,20	2,55	0,76	0,75	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	69,93	36,1%	0,40	3,35	1,19	1,28	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	85,92	44,4%	0,60	4,17	1,62	1,79	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	99,74	51,5%	0,80	5,01	1,89	2,22	-	-	-
Primera plastificación	122,01	63,0%	1,11	6,49	2,29	2,95	-	-	-


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



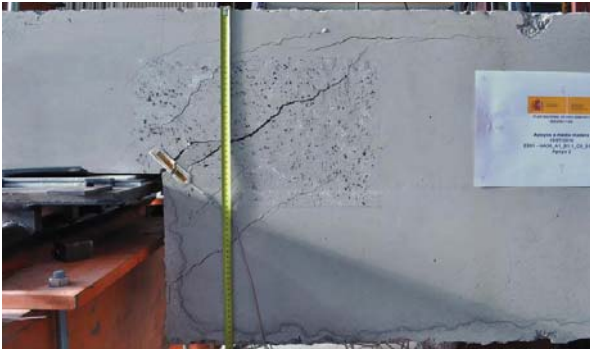
 		 		FICHA: 2.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO AL 85% DE LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



FISURACIÓN EN CARA DORSAL DE LA VIGA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha está ligeramente menos dañado que el apoyo contrario, pero puede considerarse que el colapso se produce de manera simultánea en ambos apoyos.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con las armaduras volverse bastante horizontal y acabar finalmente buscando la parte superior del primer estribo de cortante de la viga.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales, primeramente el vertical y algo después el horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón. El apoyo contrario está más dañado; dado el mal estado de este apoyo no tiene sentido realizar un ensayo de recarga.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

H.3 DEB-1.2 (T1)

				FICHA: 3.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.2
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 19/07/2010
 Edad (días): 33

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ10	Armado: 2φ10+2φ8	Armado: -
Área (cm ²): 2,36	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00
α: 60%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

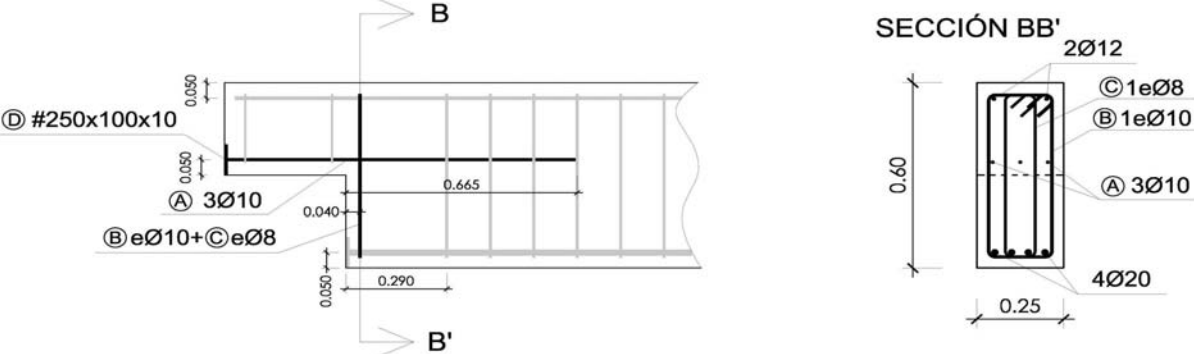
V última (kN): 132,71 (145,81)_test recarga
 V (w=0,4 mm) (kN): 65,90 50%
 Modo de fallo: SY+SP (H-V)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
39,3	2,56	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

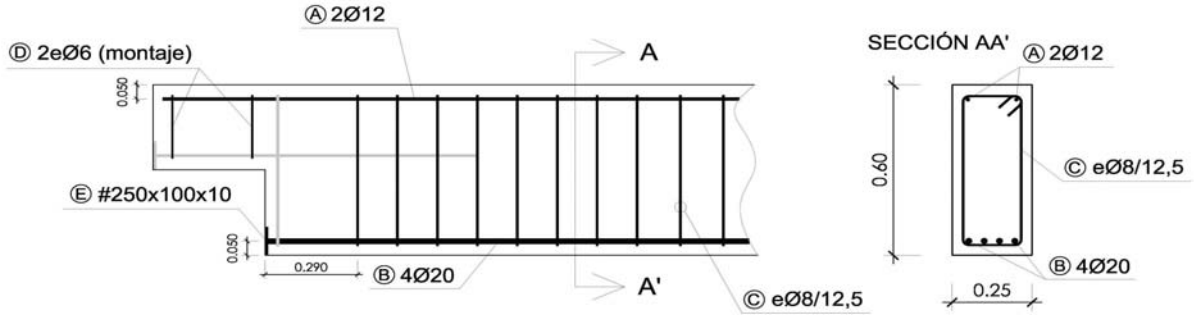
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

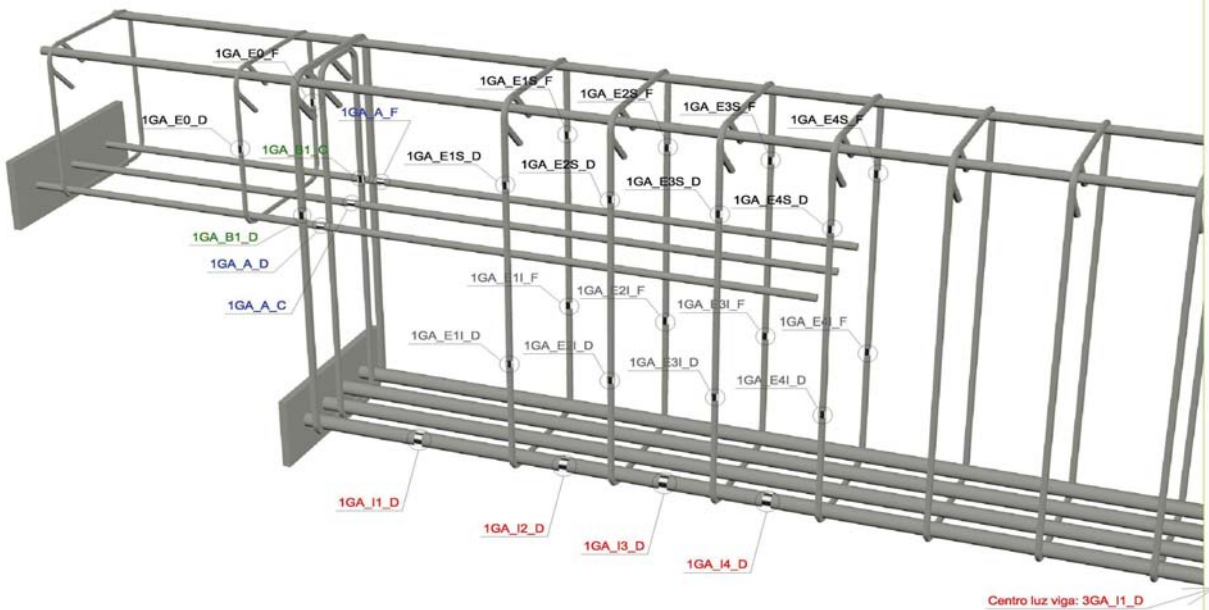


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

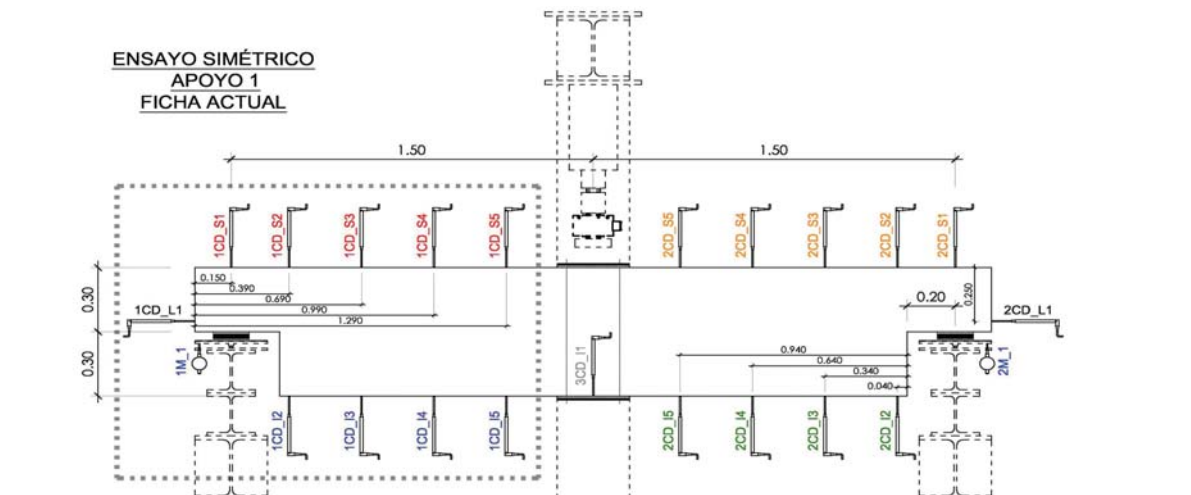
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-1.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



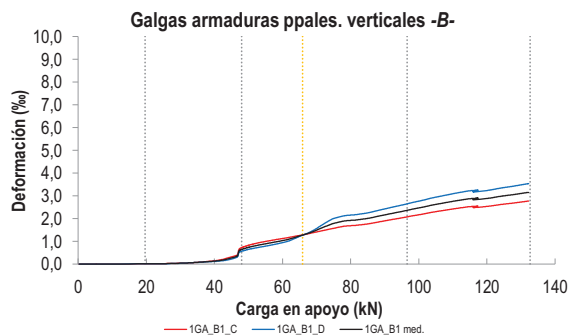
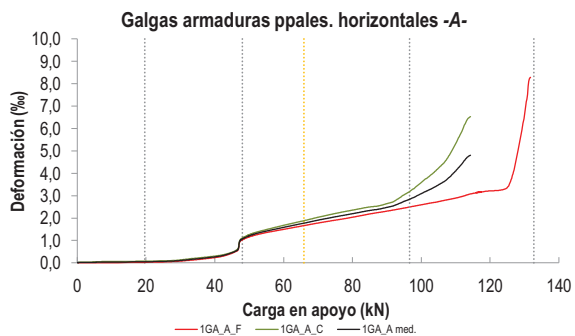
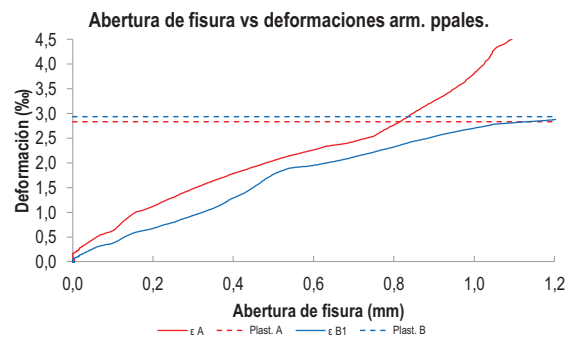
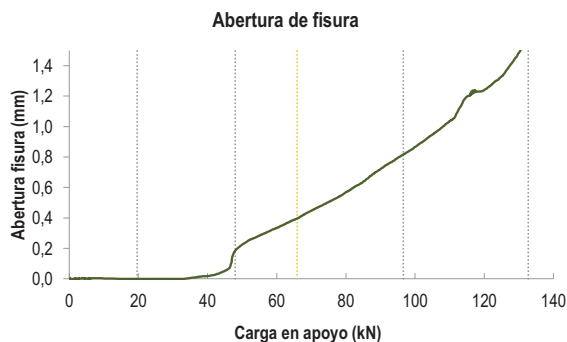
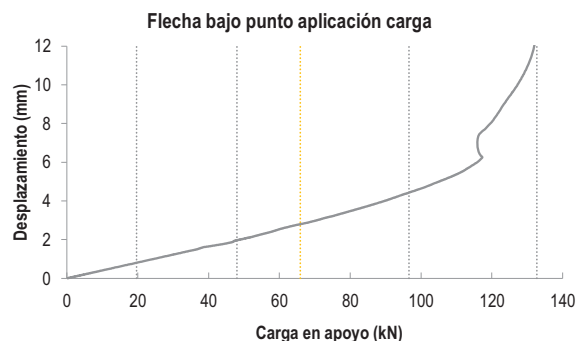
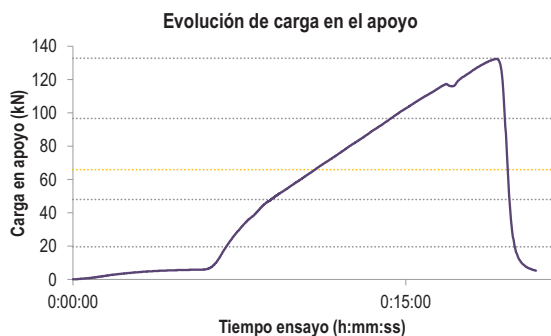
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 3.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

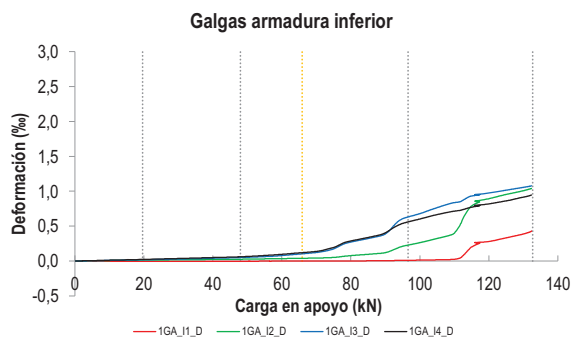
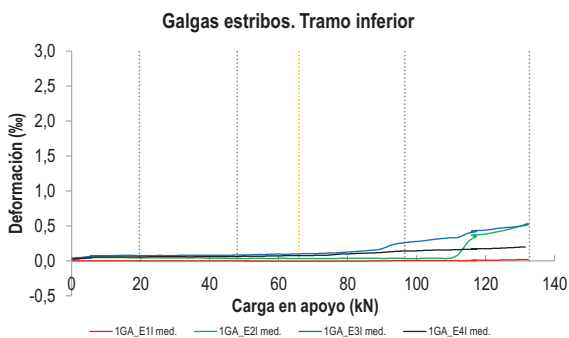
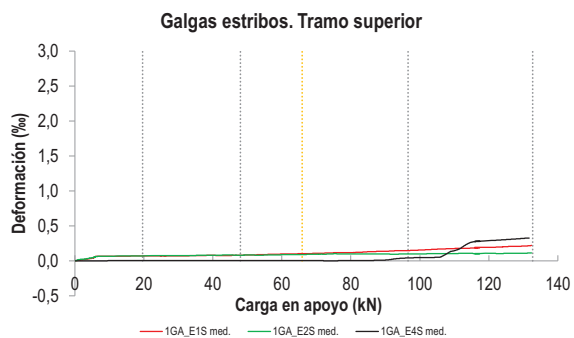
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

   		FICHA: 3.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

   		FICHA: 3.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,64	5%	0,00	0,27	0,03	0,00	-	-	-
13,27	10%	0,00	0,54	0,04	0,00	-	-	-
19,91	15%	0,00	0,81	0,05	0,01	-	-	-
26,54	20%	0,00	1,08	0,07	0,02	-	-	-
33,18	25%	0,00	1,36	0,16	0,06	-	-	-
39,81	30%	0,02	1,64	0,27	0,13	-	-	-
46,45	35%	0,09	1,89	0,72	0,43	-	-	-
53,08	40%	0,26	2,18	1,35	0,83	-	-	-
59,72	45%	0,33	2,52	1,58	1,02	-	-	-
66,35	50%	0,40	2,81	1,79	1,29	-	-	-
72,99	55%	0,48	3,12	2,00	1,67	-	-	-
79,62	60%	0,56	3,46	2,19	1,91	-	-	-
86,26	65%	0,66	3,80	2,37	2,04	-	-	-
92,90	70%	0,76	4,20	2,61	2,25	-	-	-
99,53	75%	0,86	4,61	3,06	2,45	-	-	-
106,17	80%	0,97	5,08	3,60	2,65	-	-	-
112,80	85%	1,12	5,65	4,53	2,82	-	-	-
119,44	90%	1,24	7,70	-	2,88	-	-	-
126,07	95%	1,37	9,72	-	3,02	-	-	-
132,71	100%	1,53	11,67	-	3,13	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	19,65	14,8%	0,00	0,80	0,05	0,01	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	48,00	36,2%	0,18	1,96	1,05	0,63	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	48,87	36,8%	0,20	2,00	1,14	0,69	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	65,90	49,7%	0,40	2,80	1,78	1,27	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	82,14	61,9%	0,60	3,58	2,26	1,95	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	95,38	71,9%	0,80	4,36	2,77	2,32	-	-	-
Primera plastificación	96,59	72,8%	0,82	4,43	2,84	2,36	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **3.6**

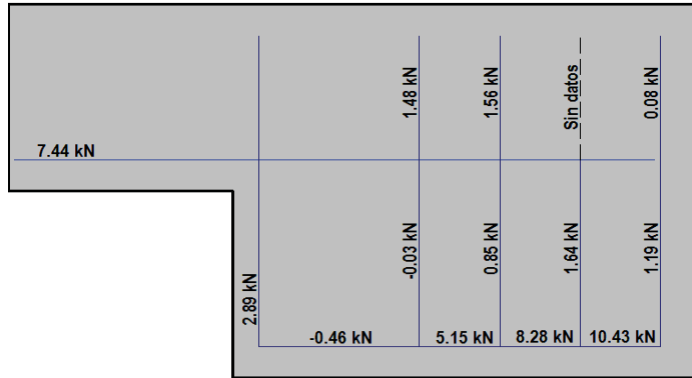
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2

ENSAYO: **DEB-1.2 (T1)**

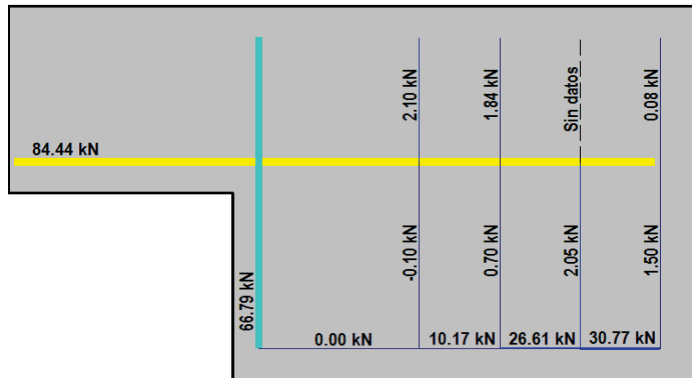
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

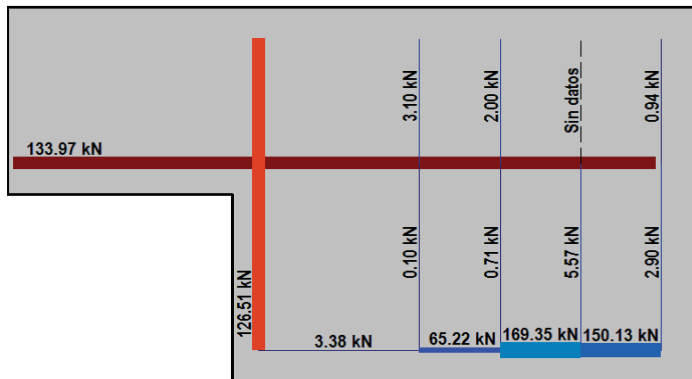
V (kN): 33,18
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,00



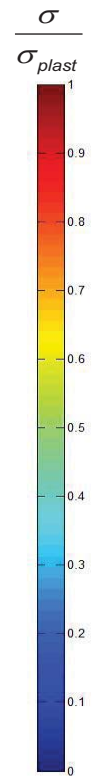
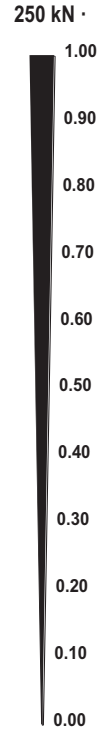
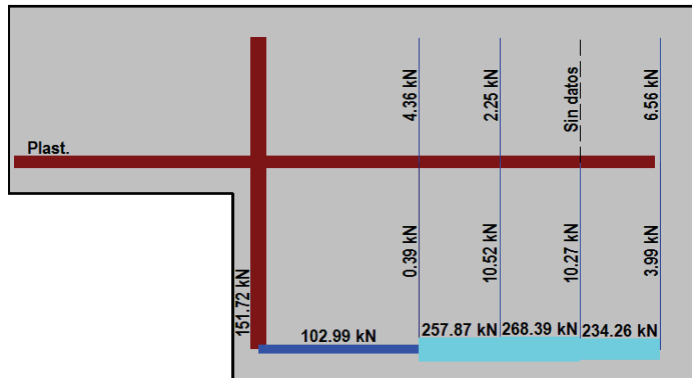
V (kN): 66,35
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,40







V (kN): 99,53
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,86




V (kN): 132,71
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,53




  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION		FICHA: 3.7
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO:	DEB-1.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO SOMETIDO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS FALLO DE APOYO CONTRARIO







VISTA GENERAL TRAS EL ENSAYO DE RECARGA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. La rotura se produce por el apoyo contrario al detallado en la presente ficha.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Aparece una única fisura de relevancia, que parte desde la esquina con una inclinación ligeramente vertical a los 45°.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican ambas armaduras; lo hace bastante antes la armadura horizontal, puesto que es la que es insuficiente respecto al diseño equilibrado. Pese a encontrarse plastificadas las armaduras, el aspecto de la pieza tras la rotura del apoyo contrario no es muy malo, por lo que se realiza un ensayo de recarga para determinar su carga máxima.

H.4 DEB-1.2 (T2)

				FICHA: 4.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-	
Armado: 3φ10	Armado: 2φ10+2φ8	Armado: -	
Área (cm ²): 2,36	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00	
α: 60%	β: 100%	γ: 0%	
Rec. mecán. (mm): 40			
Variante 1: - Variante 2: -			
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa) $f_{3,R}$ (Mpa)
39,3	2,56	0,00%	- -

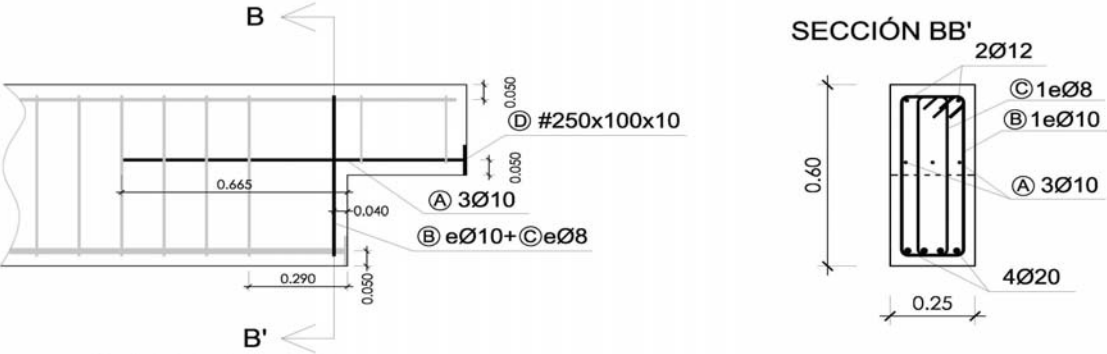
Codificación: p49/O.2
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 19/07/2010
 Edad (días): 33

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 132,71
 V (w=0,4 mm) (kN): 53,52 40%
 Modo de fallo: SY+SP (H-V)

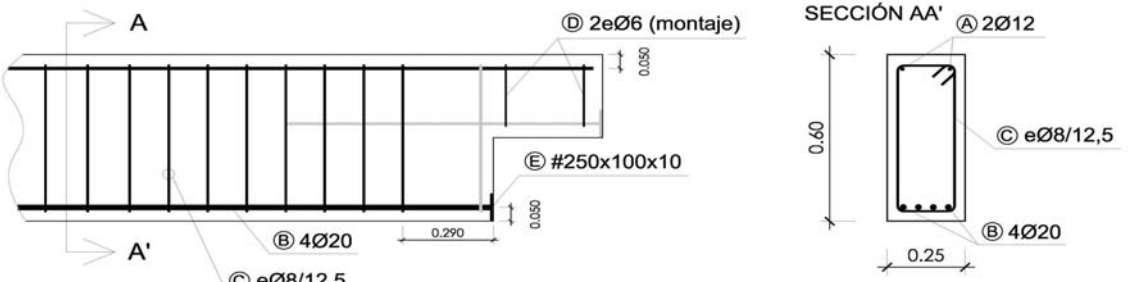
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

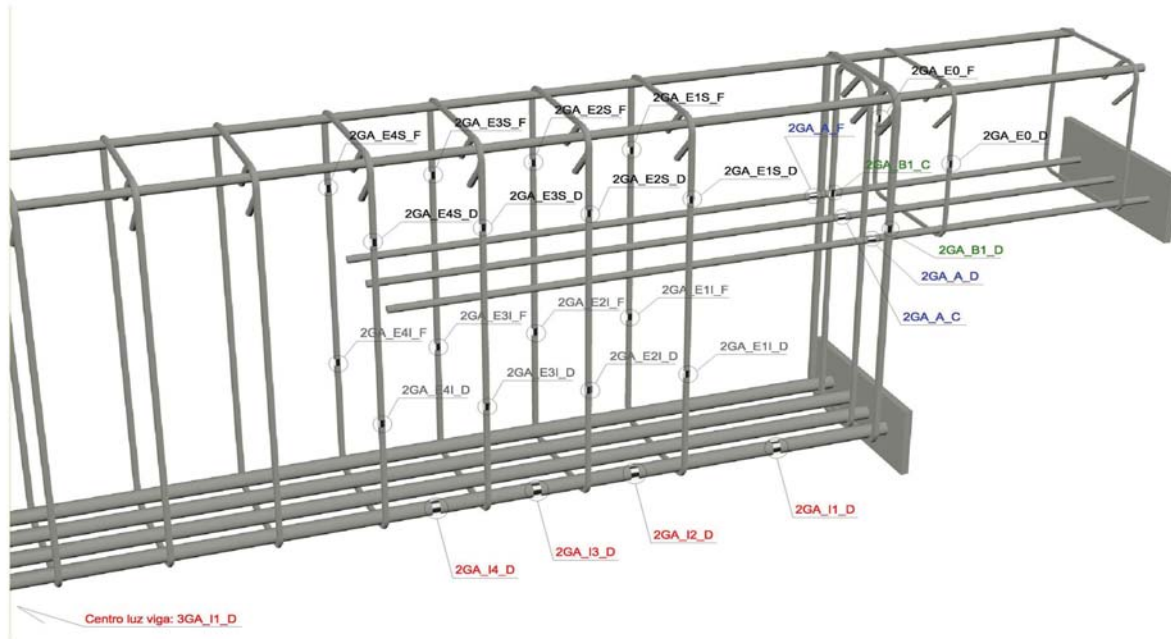
B2.- ARMADO DE LA VIGA



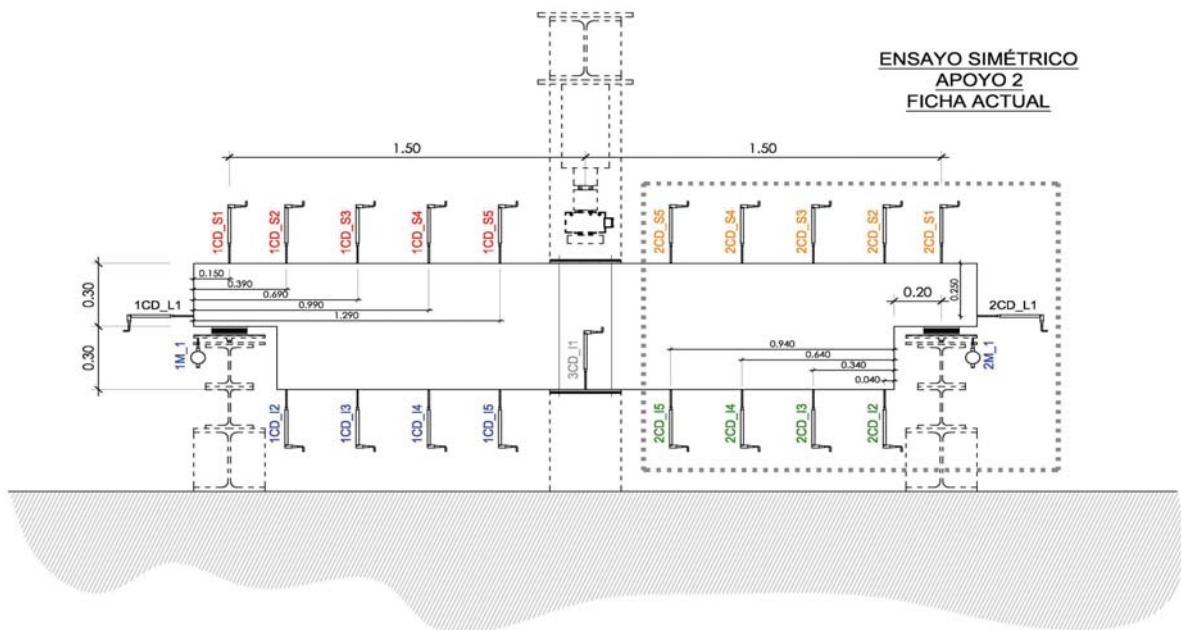
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



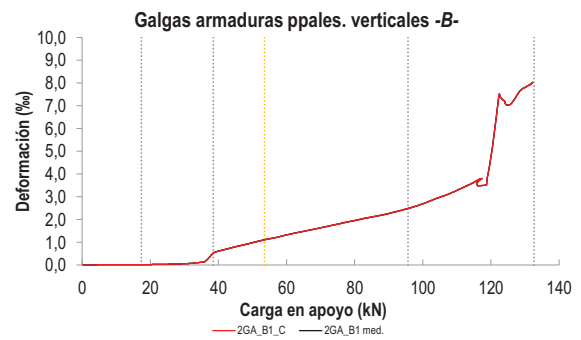
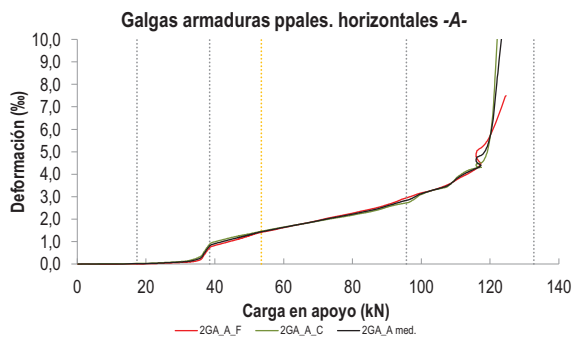
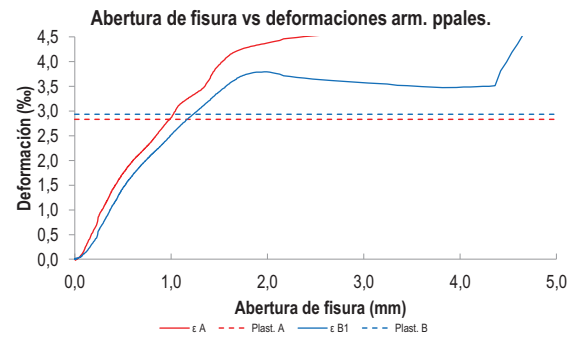
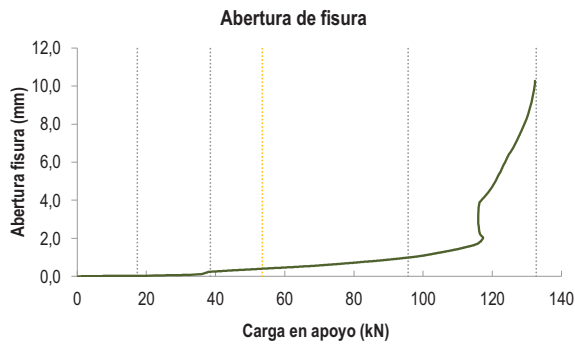
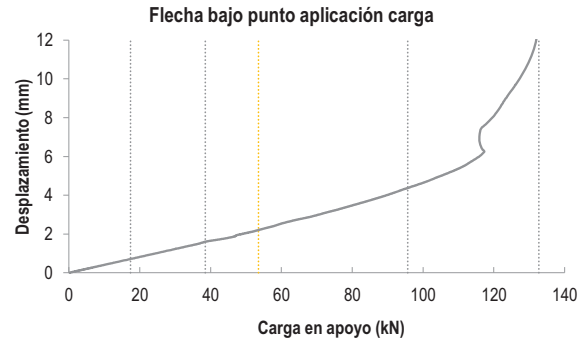
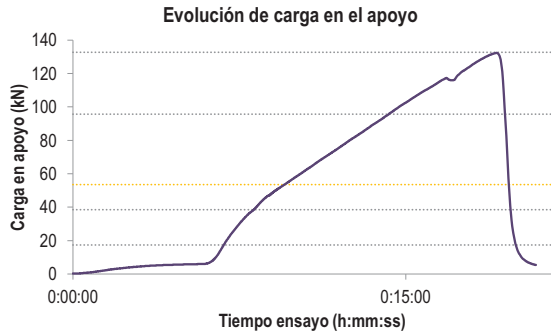
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



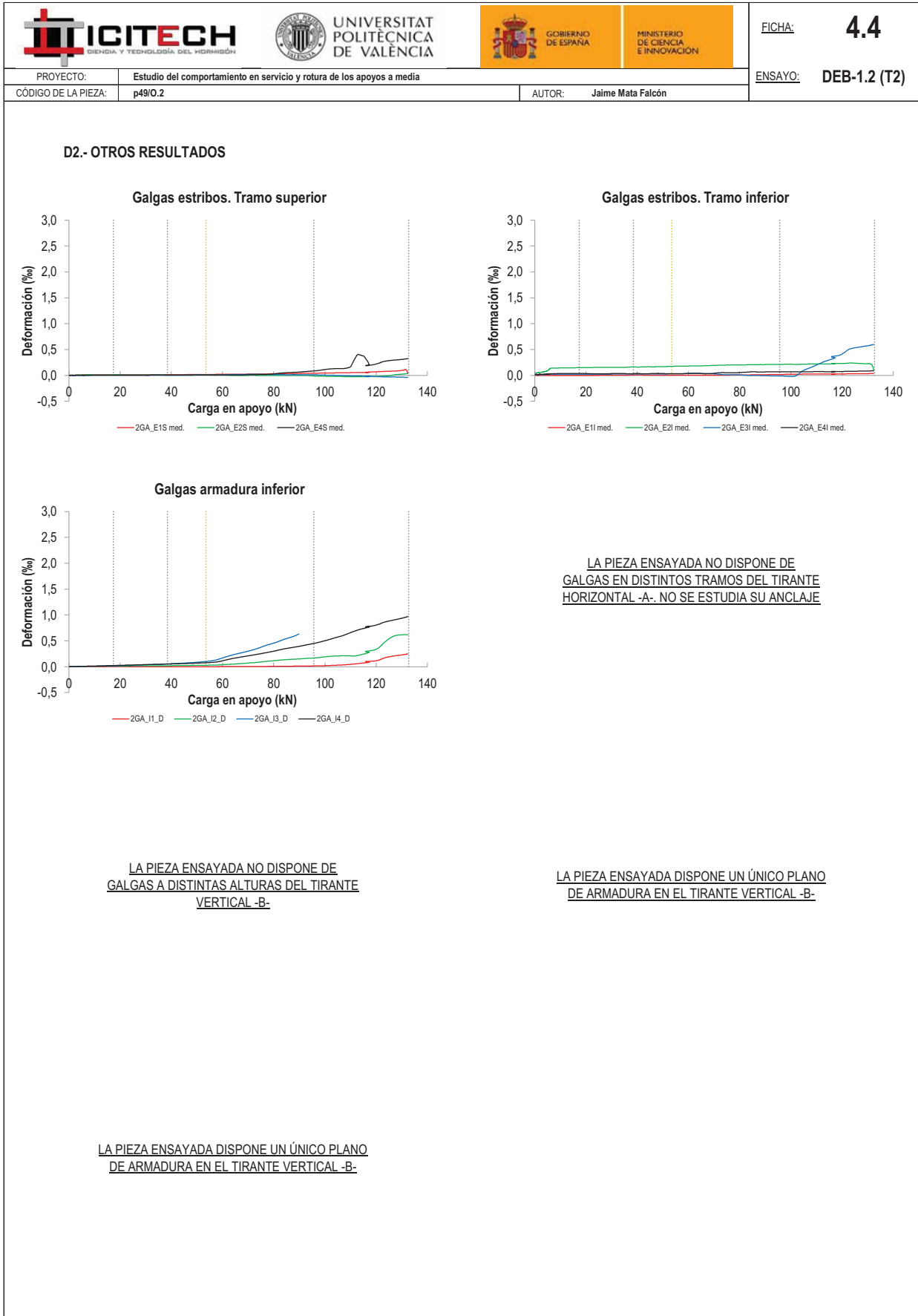
   		FICHA: 4.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 4.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.2 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

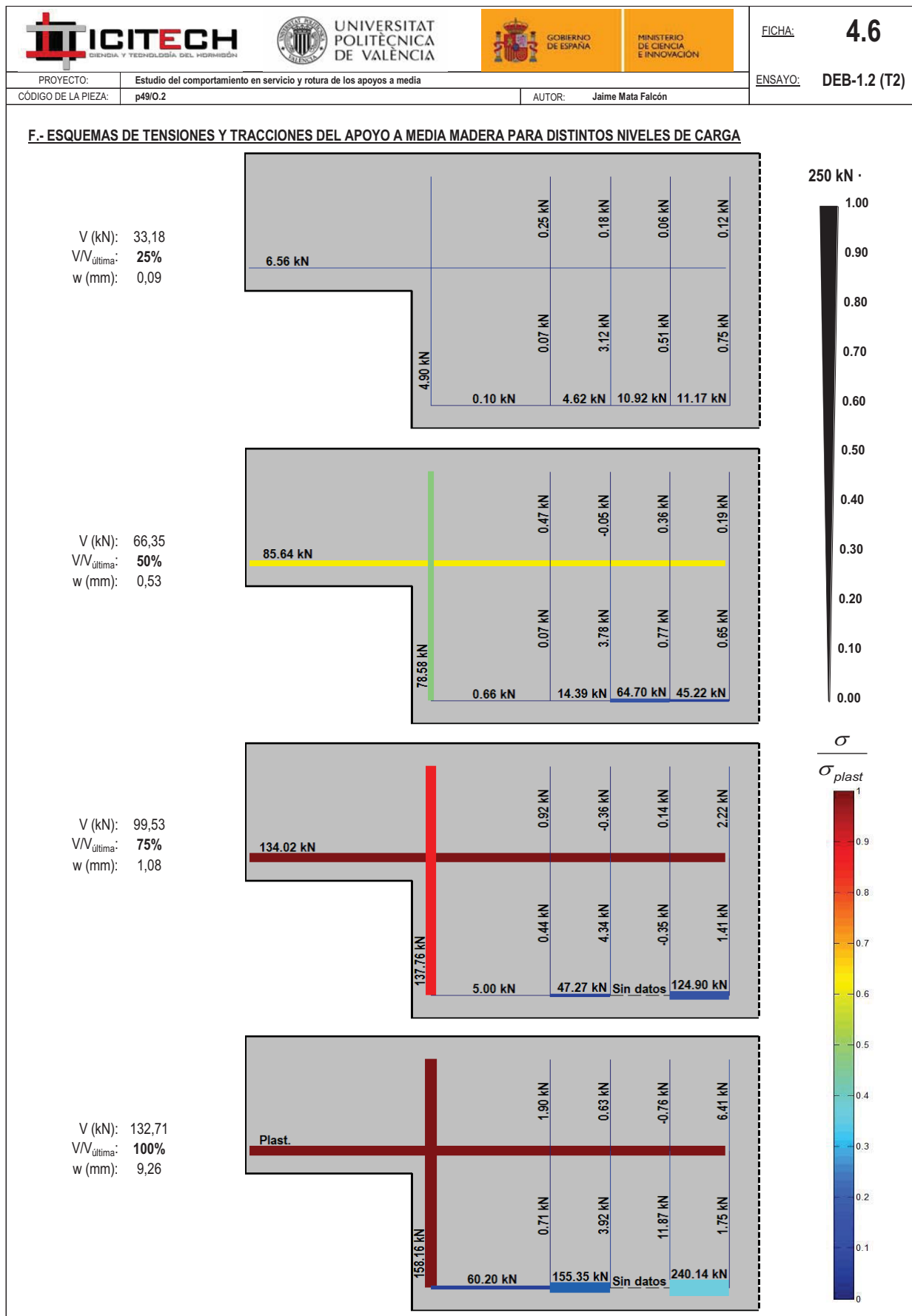
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,64	5%	0,02	0,27	0,00	0,02	-	-	-
13,27	10%	0,02	0,54	0,00	0,02	-	-	-
19,91	15%	0,03	0,81	0,02	0,03	-	-	-
26,54	20%	0,06	1,08	0,06	0,04	-	-	-
33,18	25%	0,09	1,36	0,14	0,09	-	-	-
39,81	30%	0,26	1,64	0,90	0,60	-	-	-
46,45	35%	0,33	1,89	1,18	0,87	-	-	-
53,08	40%	0,40	2,18	1,42	1,09	-	-	-
59,72	45%	0,46	2,52	1,62	1,31	-	-	-
66,35	50%	0,53	2,81	1,81	1,52	-	-	-
72,99	55%	0,61	3,12	2,02	1,73	-	-	-
79,62	60%	0,71	3,46	2,21	1,95	-	-	-
86,26	65%	0,81	3,80	2,42	2,15	-	-	-
92,90	70%	0,93	4,20	2,71	2,37	-	-	-
99,53	75%	1,08	4,61	3,09	2,67	-	-	-
106,17	80%	1,29	5,08	3,41	3,04	-	-	-
112,80	85%	1,55	5,65	4,03	3,47	-	-	-
119,44	90%	4,14	7,70	5,57	4,57	-	-	-
126,07	95%	6,84	9,72	11,26	7,24	-	-	-
132,71	100%	9,26	11,67	-	7,92	-	-	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	17,38	13,1%	0,03	0,71	0,01	0,02	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	38,50	29,0%	0,24	1,60	0,78	0,51	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	37,48	28,2%	0,20	1,54	0,59	0,36	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	53,52	40,3%	0,40	2,20	1,43	1,11	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	71,77	54,1%	0,60	3,06	1,98	1,69	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	85,11	64,1%	0,80	3,74	2,38	2,11	-	-	-
Primera plastificación	95,67	72,1%	0,99	4,37	2,84	2,49	-	-	-


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 4.7
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO:	DEB-1.2 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO AL 85% DE CARGA ÚLTIMA (w=1,5 mm)




DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







PIEZA TRAS LA ROTURA (Lado dorsal)



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el fallo de la pieza en este ensayo.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio. Arranca con una inclinación de unos 60° respecto a la horizontal y al encontrarse con las armaduras se vuelve más vertical, debido a la debilidad del tirante horizontal.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura que parte del eje del apoyo y que se vuelve horizontal al llegar a la armadura superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los dos tirantes principales, primeramente el horizontal, puesto que es el que tiene déficit respecto al diseño equilibrado, pero poco después lo hace también el vertical.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del apoyo provoca el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

H.5 DEB-1.3 (T1)

				FICHA: 5.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.3 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

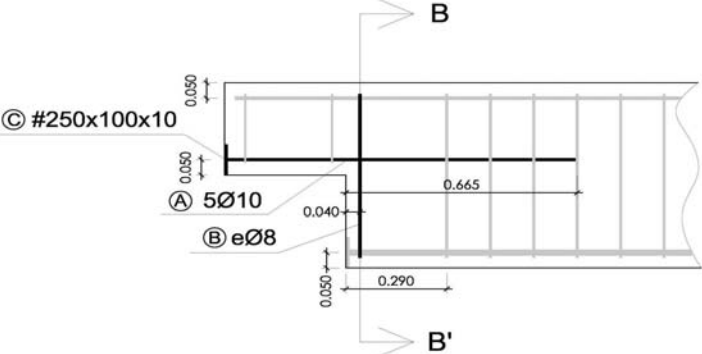
A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Factor de cuantía de armado: p49

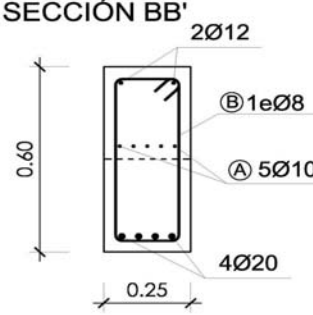
	AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Codificación: p49/O.3	Armado: 5φ10	Armado: 2φ8	Armado: -
Fecha horm.: 16/06/2010	Área (cm ²): 3,93	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 0,00
Fecha ensayo: 22/07/2010	α: 100%	β: 39%	γ: 0%
Edad (días): 36	Rec. mecán. (mm): 40		
Secc. apoyo (mm): 250x300 Secc. viga (mm): 250x600 Tipo ensayo: Simétrico			
V última (kN): 121,11 V (w=0,4 mm) (kN): 59,83 49% Modo de fallo: SY (V-H)			
Variante 1: - Variante 2: -			
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
39,9	2,98	0,00%	- -

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

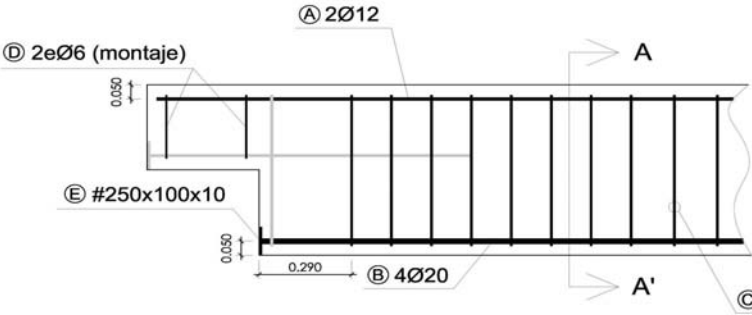
B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



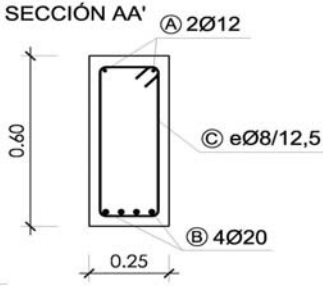
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros



B2.- ARMADO DE LA VIGA

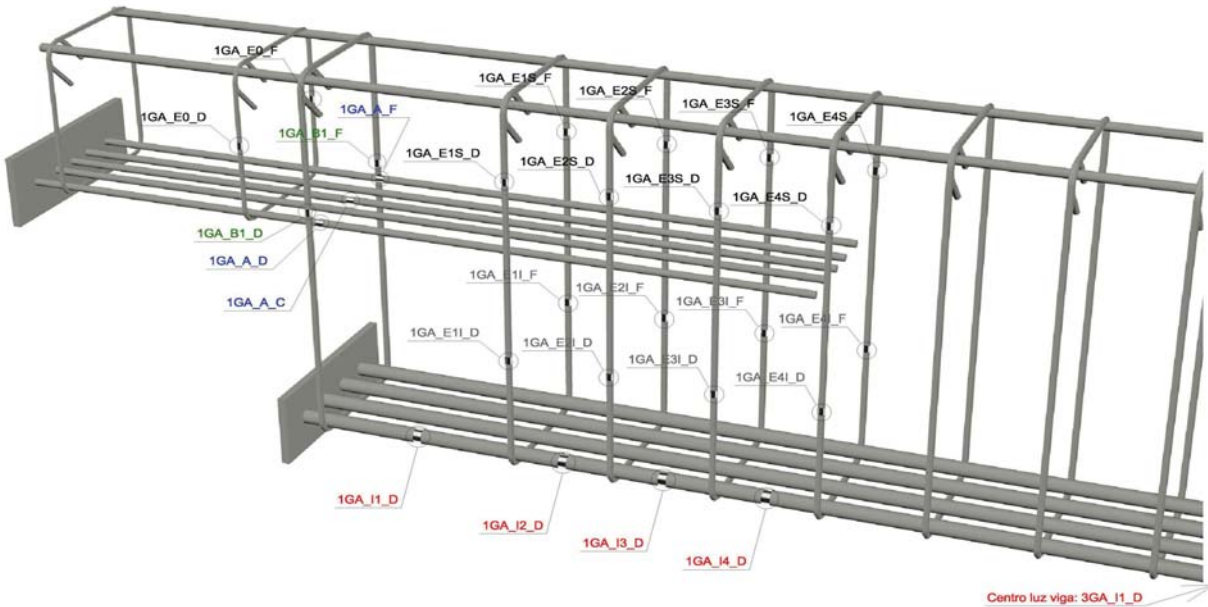


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

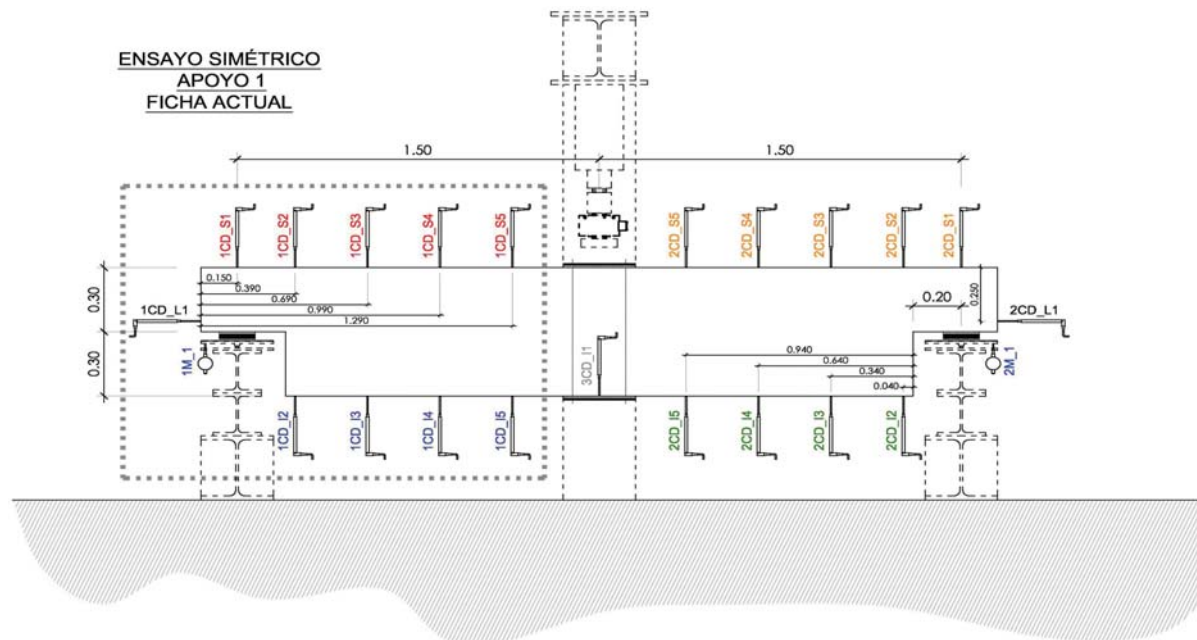


C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



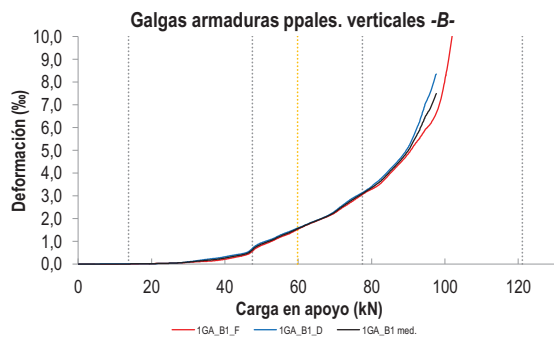
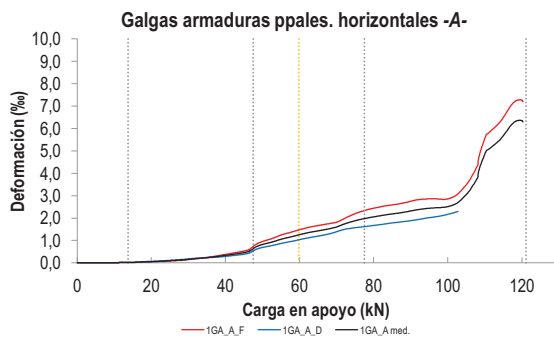
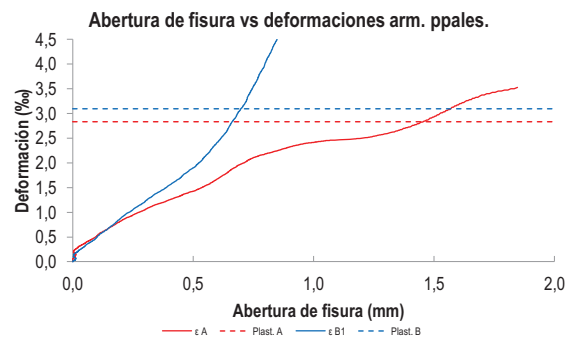
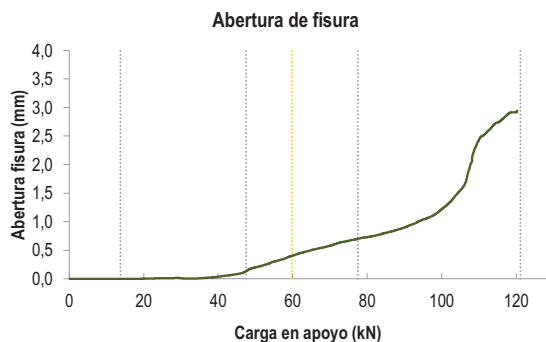
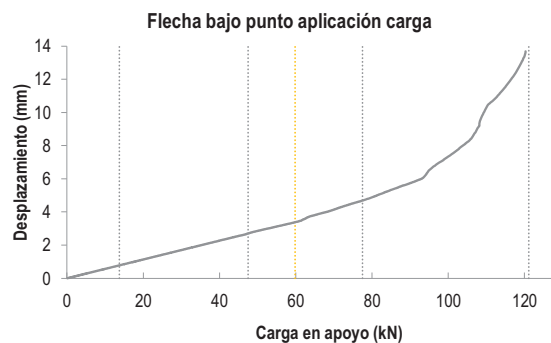
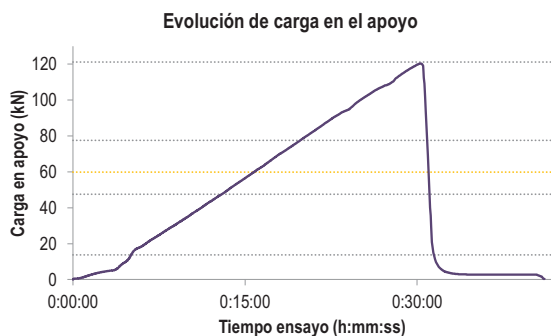
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 5.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.3 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

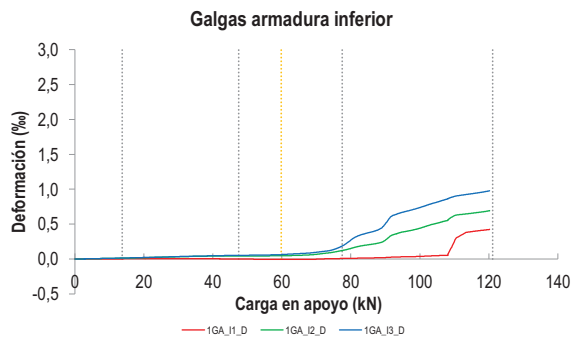
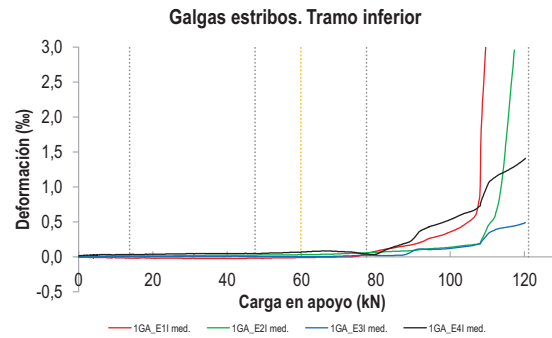
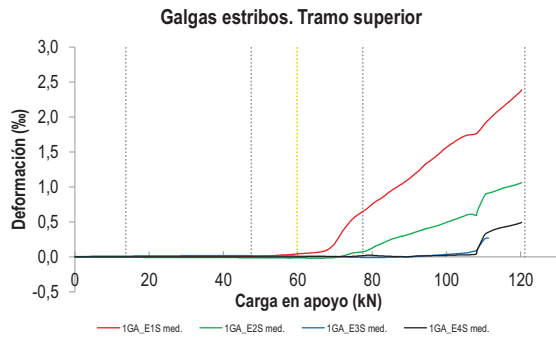
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-1.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.3	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

   		FICHA: 5.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

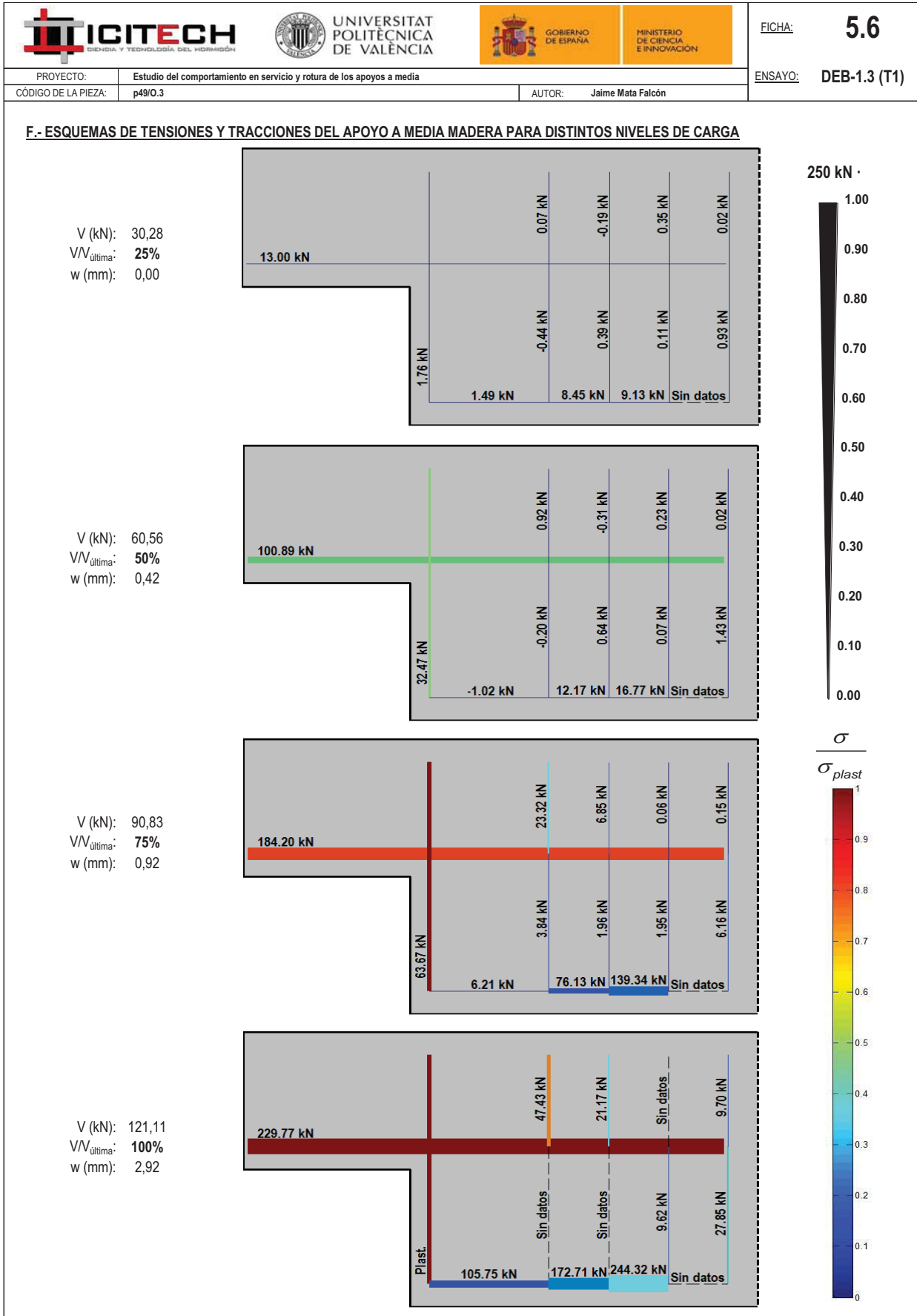
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,06	5%	0,00	0,34	0,01	0,00	-	-	-
12,11	10%	0,00	0,69	0,02	0,00	-	-	-
18,17	15%	0,00	1,03	0,05	0,01	-	-	-
24,22	20%	0,00	1,37	0,09	0,03	-	-	-
30,28	25%	0,00	1,72	0,17	0,09	-	-	-
36,33	30%	0,00	2,06	0,26	0,18	-	-	-
42,39	35%	0,06	2,41	0,39	0,34	-	-	-
48,44	40%	0,16	2,76	0,72	0,74	-	-	-
54,50	45%	0,29	3,09	1,03	1,18	-	-	-
60,56	50%	0,42	3,43	1,28	1,61	-	-	-
66,61	55%	0,53	3,91	1,48	2,01	-	-	-
72,67	60%	0,63	4,35	1,77	2,59	-	-	-
78,72	65%	0,72	4,78	2,02	3,22	-	-	-
84,78	70%	0,80	5,30	2,18	4,02	-	-	-
90,83	75%	0,92	5,81	2,34	5,24	-	-	-
96,89	80%	1,09	6,85	2,46	6,99	-	-	-
102,94	85%	1,40	7,84	2,75	-	-	-	-
109,00	90%	2,18	9,59	4,21	-	-	-	-
115,06	95%	2,74	11,60	5,73	-	-	-	-
121,11	100%	2,92	13,22	6,35	-	-	-	-





Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,73	11,3%	0,00	0,78	0,02	0,00	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	47,50	39,2%	0,13	2,70	0,63	0,62	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	50,12	41,4%	0,20	2,87	0,83	0,89	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	59,83	49,4%	0,40	3,38	1,25	1,55	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	71,22	58,8%	0,60	4,24	1,68	2,43	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	84,03	69,4%	0,80	5,24	2,16	3,89	-	-	-
Primera plastificación	77,50	64,0%	0,70	4,69	1,98	3,10	-	-	-


Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




 		 		FICHA: 5.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA




DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA (2)



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el fallo de la pieza en este ensayo.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio. Arranca con una inclinación de unos 45° y al encontrarse con las armaduras se vuelve más horizontal, debido a la debilidad del tirante vertical.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura que parte del borde del neopreno y va a buscar la parte superior del primer estribo de la viga.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los dos tirantes principales, primeramente el vertical, puesto que es el que tiene déficit respecto al diseño equilibrado. Al plastificar la armadura vertical, la biela que parte del apoyo se inclina mucho, haciendo trabajar de manera significativa a los estribos de la viga, hasta que plastifica también la armadura horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del neopreno, se hace bastante inclinada y acaba produciendo el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

H.6 DEB-1.3 (T2)

				FICHA: 6.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.3
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 22/07/2010
 Edad (días): 36

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ10	Armado: 2φ8	Armado: -
Área (cm ²): 3,93	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 39%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 40		

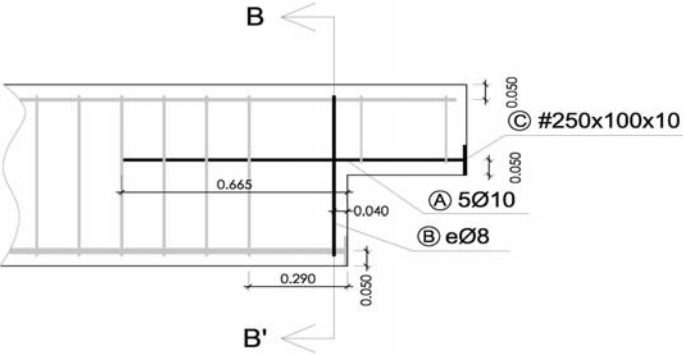
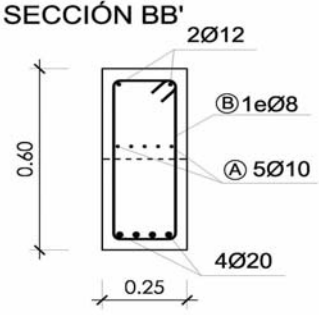
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 121,11 (132,99)_test recarga
 V (w=0,4 mm) (kN): 61,96 51%
 Modo de fallo: SY (V)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
39,9	2,98	0,00%	- -

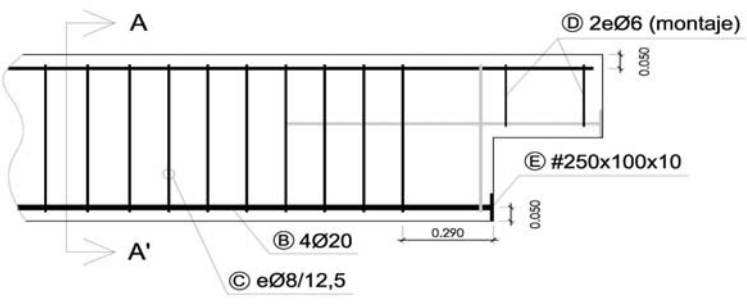
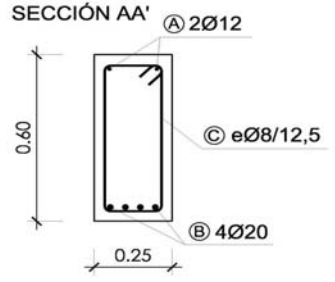
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

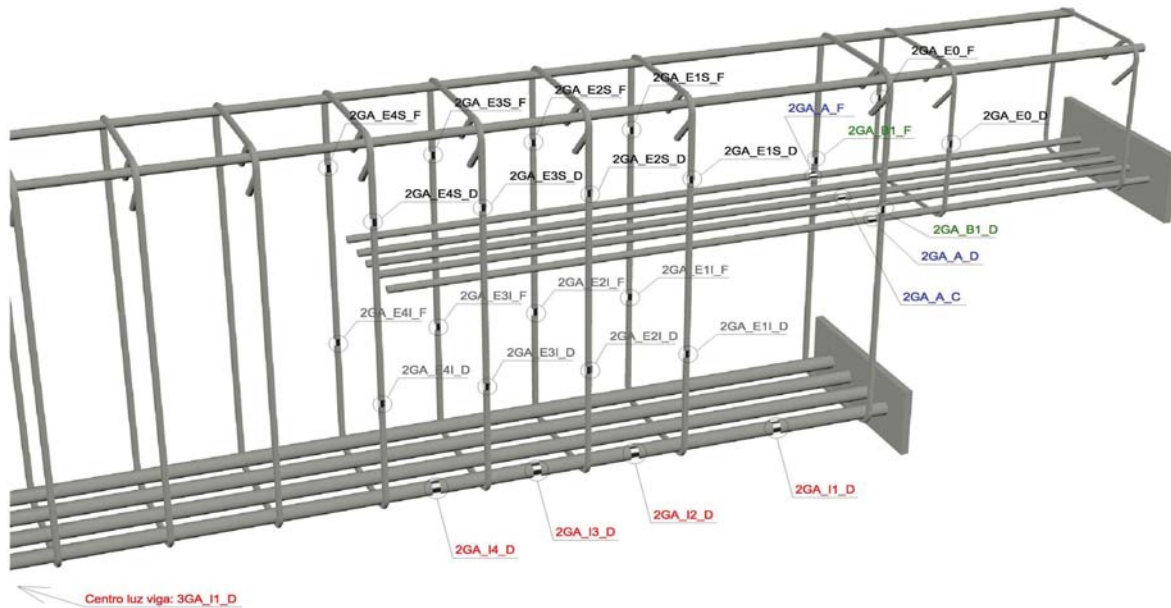
B2.- ARMADO DE LA VIGA

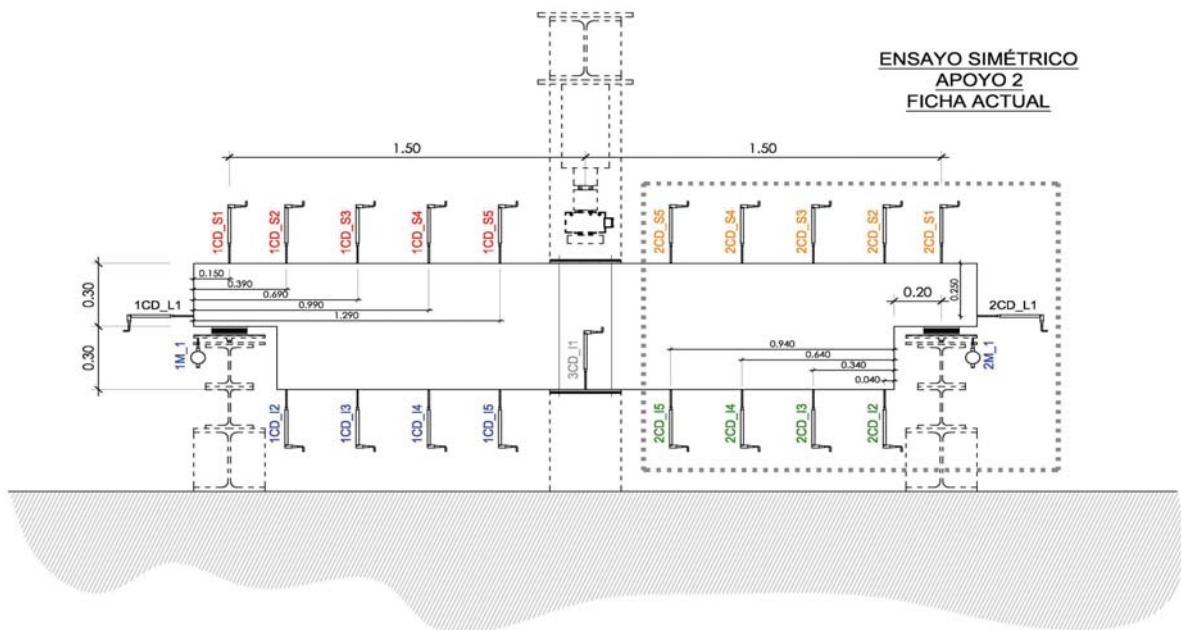
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



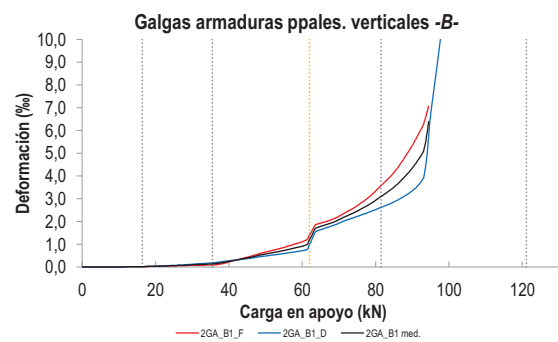
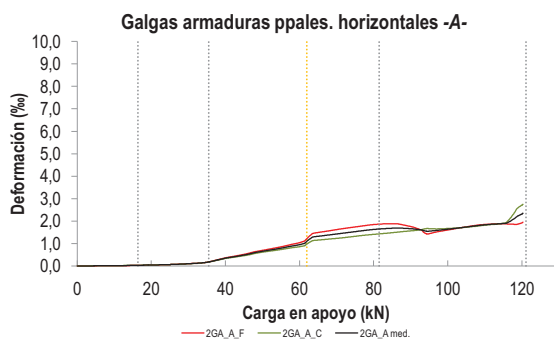
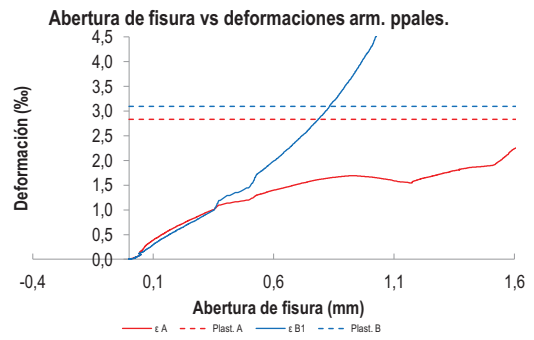
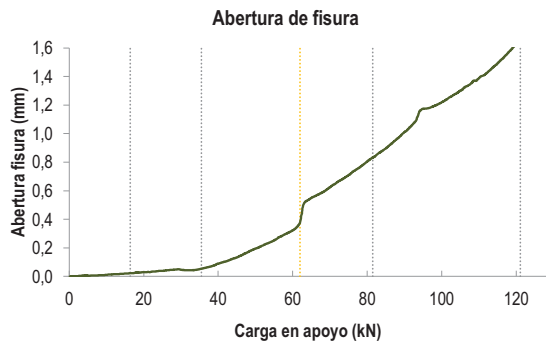
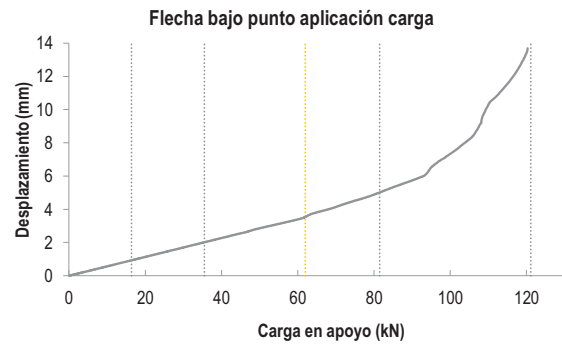
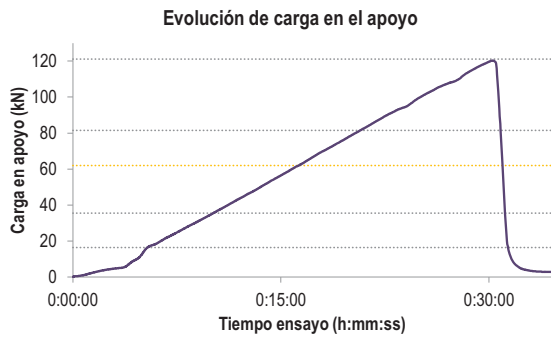
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



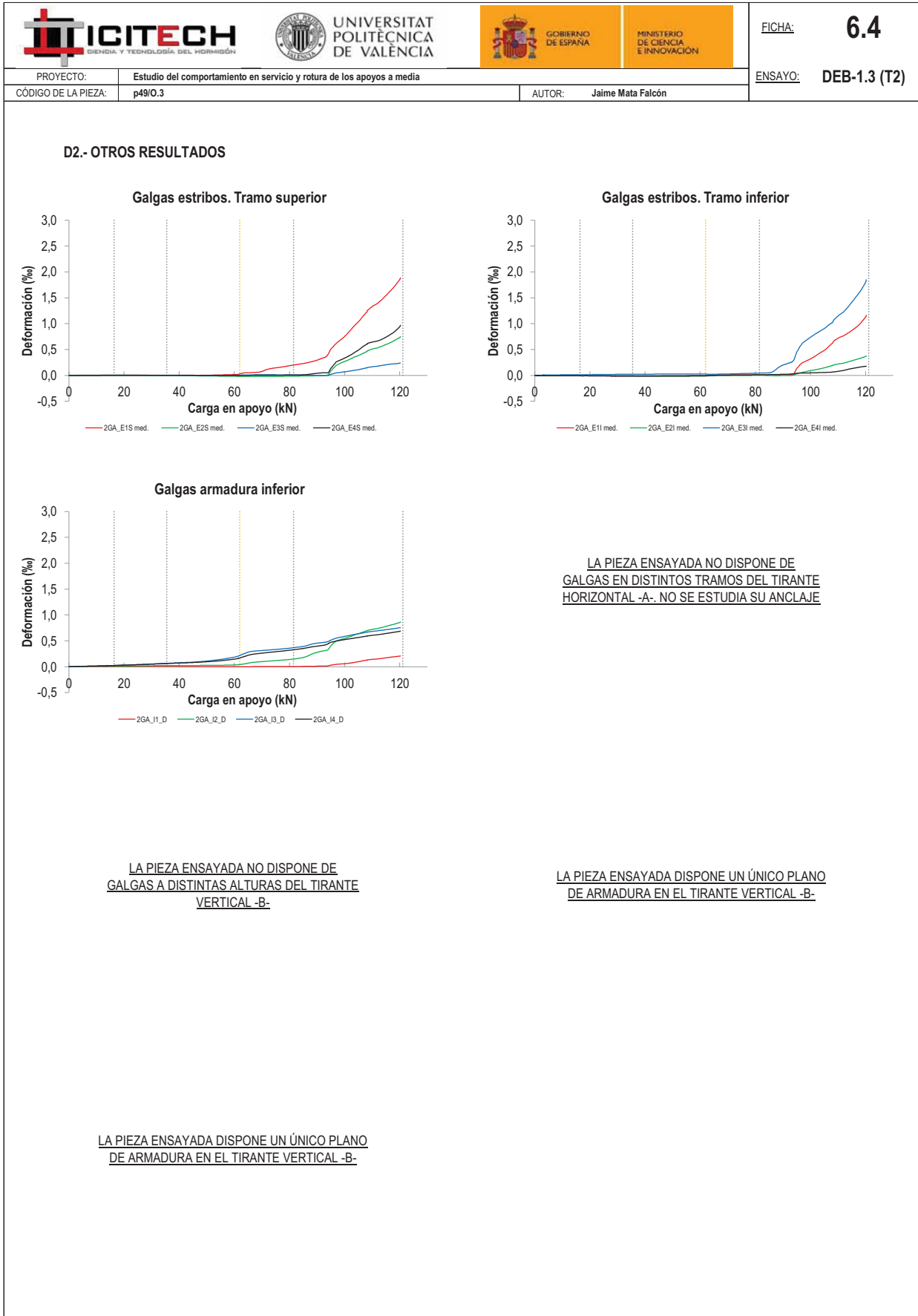
   		FICHA: 6.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 6.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.3 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
6,06	5%	0,00	0,34	0,01	0,01	-	-	-
12,11	10%	0,00	0,69	0,02	0,01	-	-	-
18,17	15%	0,03	1,03	0,04	0,03	-	-	-
24,22	20%	0,04	1,37	0,06	0,06	-	-	-
30,28	25%	0,05	1,72	0,10	0,10	-	-	-
36,33	30%	0,06	2,06	0,21	0,15	-	-	-
42,39	35%	0,11	2,41	0,41	0,32	-	-	-
48,44	40%	0,18	2,76	0,61	0,52	-	-	-
54,50	45%	0,25	3,09	0,78	0,71	-	-	-
60,56	50%	0,34	3,43	0,98	0,96	-	-	-
66,61	55%	0,57	3,91	1,36	1,87	-	-	-
72,67	60%	0,67	4,35	1,48	2,28	-	-	-
78,72	65%	0,78	4,78	1,61	2,80	-	-	-
84,78	70%	0,89	5,30	1,68	3,47	-	-	-
90,83	75%	1,03	5,81	1,65	4,53	-	-	-
96,89	80%	1,18	6,85	1,58	-	-	-	-
102,94	85%	1,27	7,84	1,69	-	-	-	-
109,00	90%	1,37	9,59	1,81	-	-	-	-
115,06	95%	1,50	11,60	1,92	-	-	-	-
121,11	100%	1,62	13,22	2,28	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

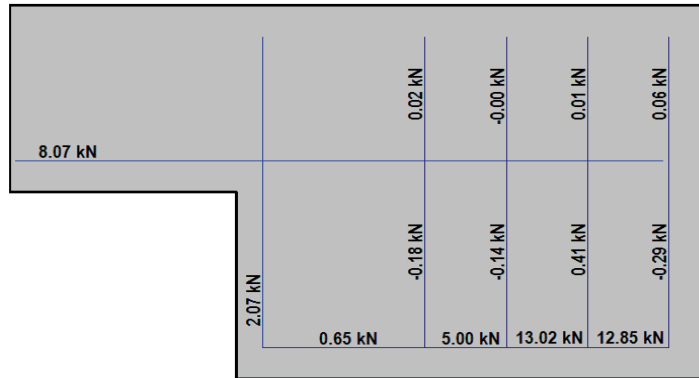
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,39	13,5%	0,02	0,93	0,03	0,02	-	-	-
Punto de cambio de rigidez	35,50	29,3%	0,05	2,02	0,18	0,14	-	-	-
Abertura de fisura 0,20 mm	50,54	41,7%	0,20	2,89	0,67	0,59	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	61,96	51,2%	0,40	3,55	1,10	1,21	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	68,32	56,4%	0,60	4,02	1,39	1,97	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	79,83	65,9%	0,80	4,87	1,62	2,92	-	-	-
Primera plastificación	81,49	67,3%	0,83	5,01	1,65	3,10	-	-	-

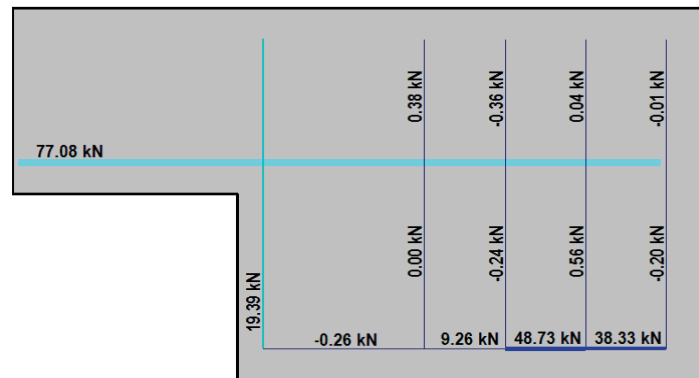
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

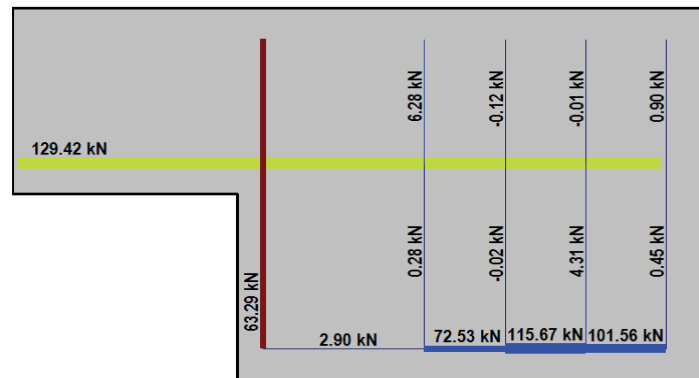
V (kN): 30,28
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,05



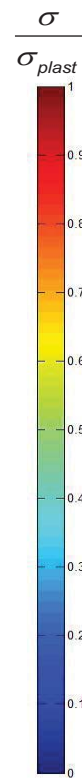
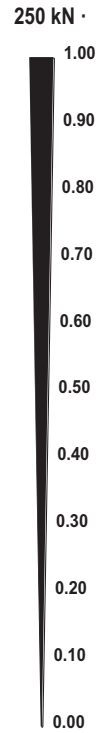
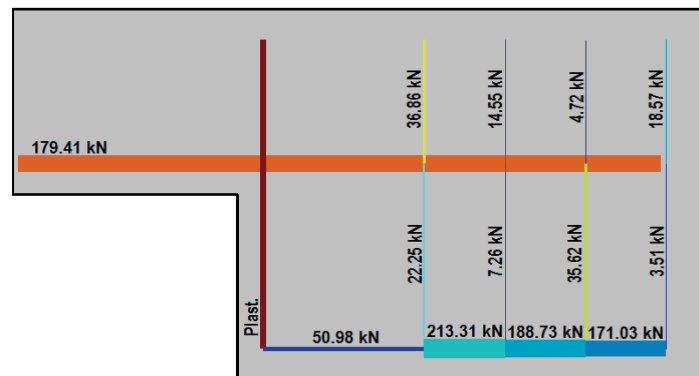
V (kN): 60,56
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,34



V (kN): 90,83
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,03



V (kN): 121,11
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,62



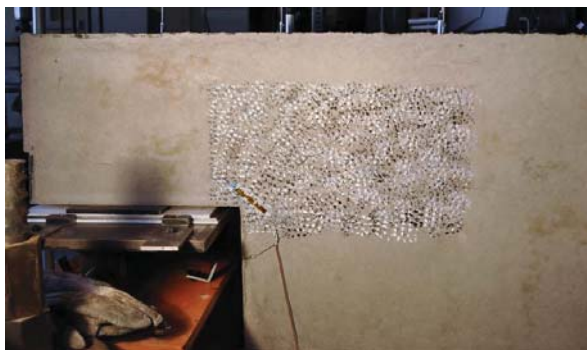
  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 6.7
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO:	DEB-1.3 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.3	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA DEL AP. CONTRARIO



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL TRAS EL ENSAYO DE RECARGA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. La rotura se produce por el apoyo contrario al detallado en la presente ficha.





- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- Dicha fisura tiene una inclinación con la horizontal algo inferior los 45°. Al tener el tirante vertical déficit de armadura respecto al diseño equilibrado la fisura tiende a ponerse más horizontal. Ante la debilidad del tirante principal vertical la fisura se propaga hasta la cabeza del primer estribo de cortante de la viga. En el ensayo de recarga a partir de dicho cerco se produce el levantamiento de la capa superior de hormigón.
- Cerca de la rotura aparece un poco por debajo de la esquina, en la sección de cambio de canto, una fisura paralela a la anterior.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. A diferencia del apoyo contrario en éste solo plastifica el tirante vertical; la armadura horizontal, queda cerca de plastificar, pero no lo hace. Por este motivo se realiza un ensayo de recarga para determinar la carga máxima que soporta este apoyo.

H.7 DEB-1.4 (T1)

				FICHA: 7.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.4 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 23/07/2010
 Edad (días): 37

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ10	Armado: 4φ8+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 3,93	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1: -
 Variante 2: -

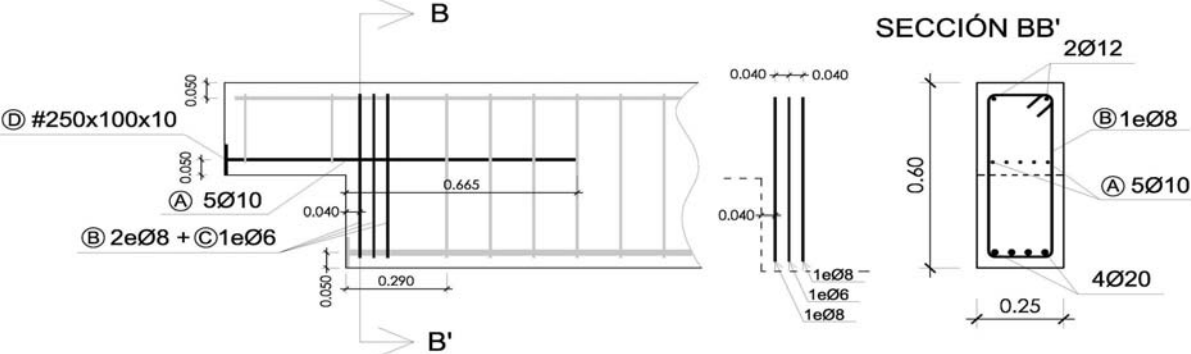
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 170,43 (182,97)_test recarga
 V (w=0,4 mm) (kN): 77,77 46%
 Modo de fallo: SY+SP (V2-V1-V3-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
40,4	3,19	0,00%	- -

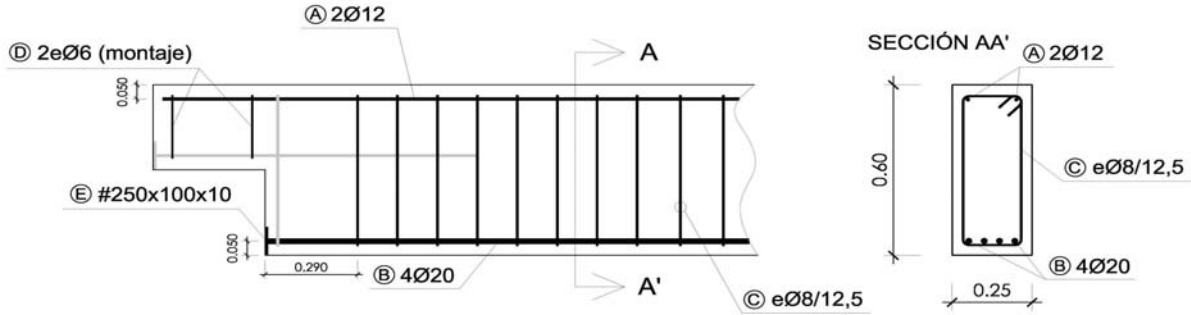
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

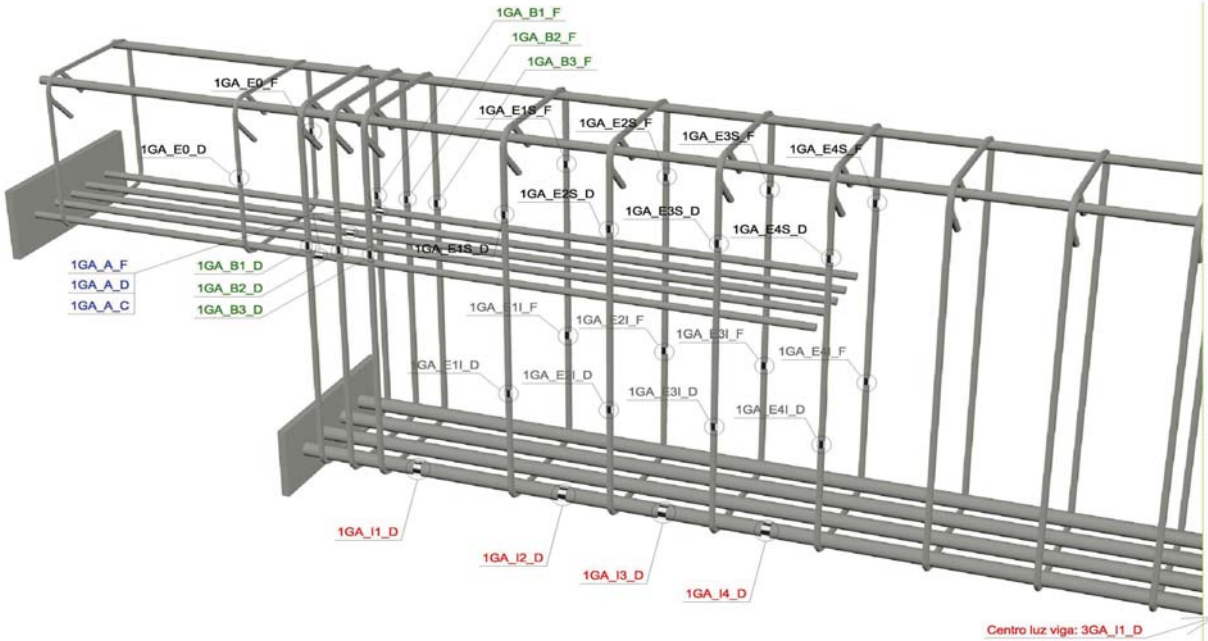
B2.- ARMADO DE LA VIGA



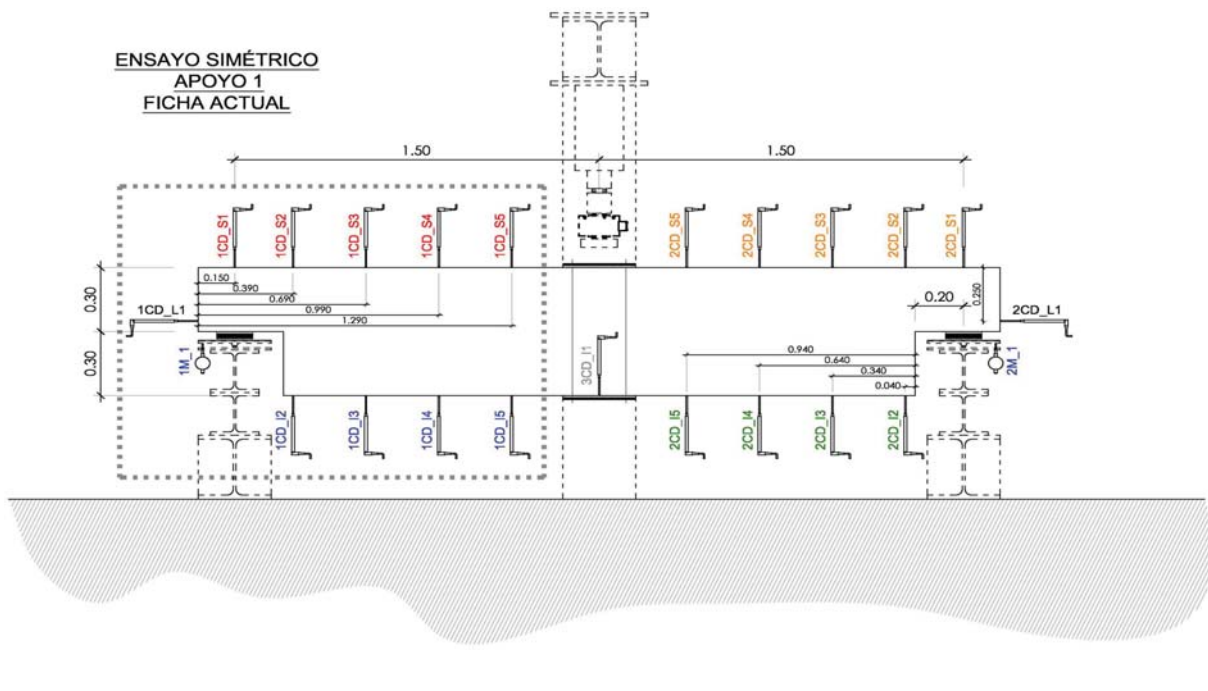
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



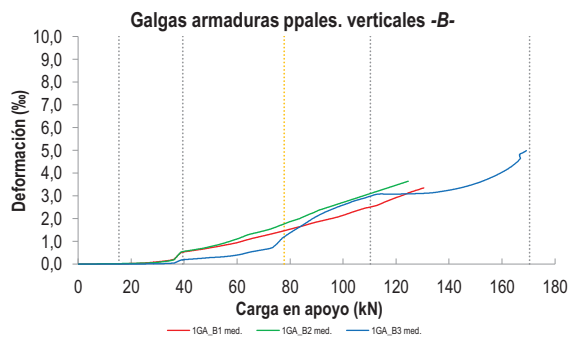
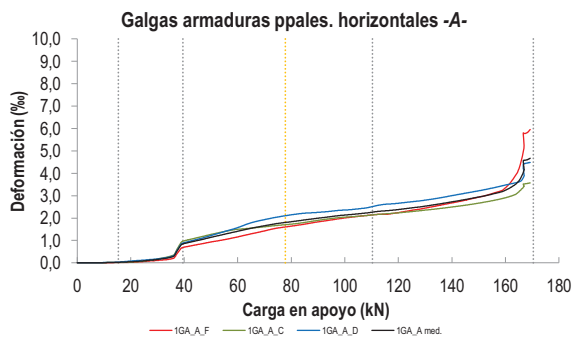
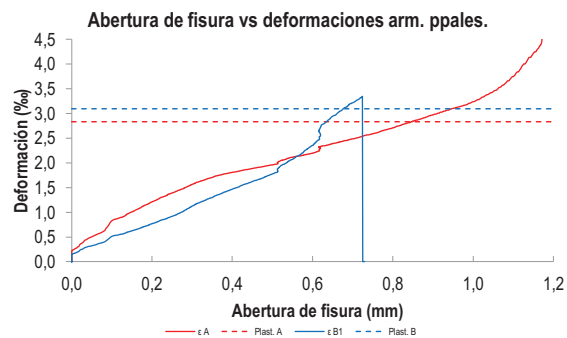
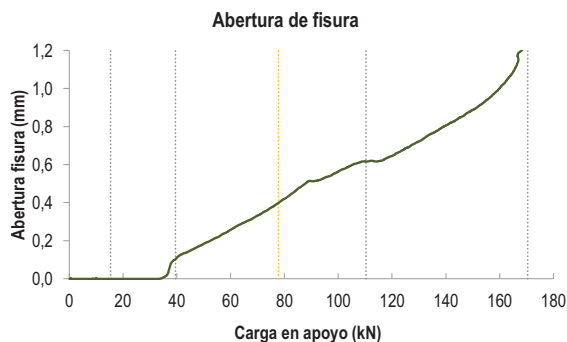
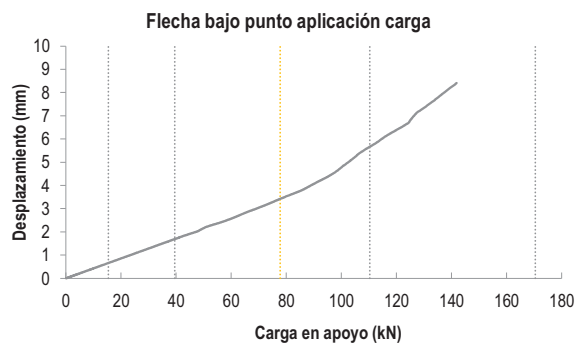
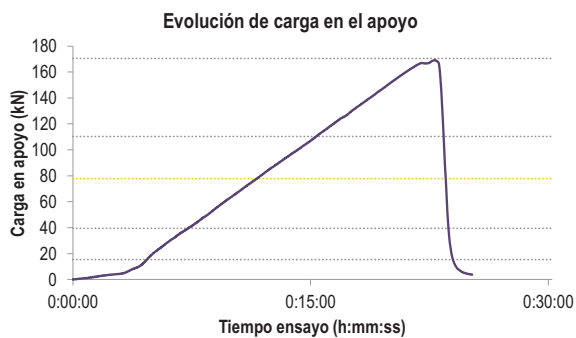
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



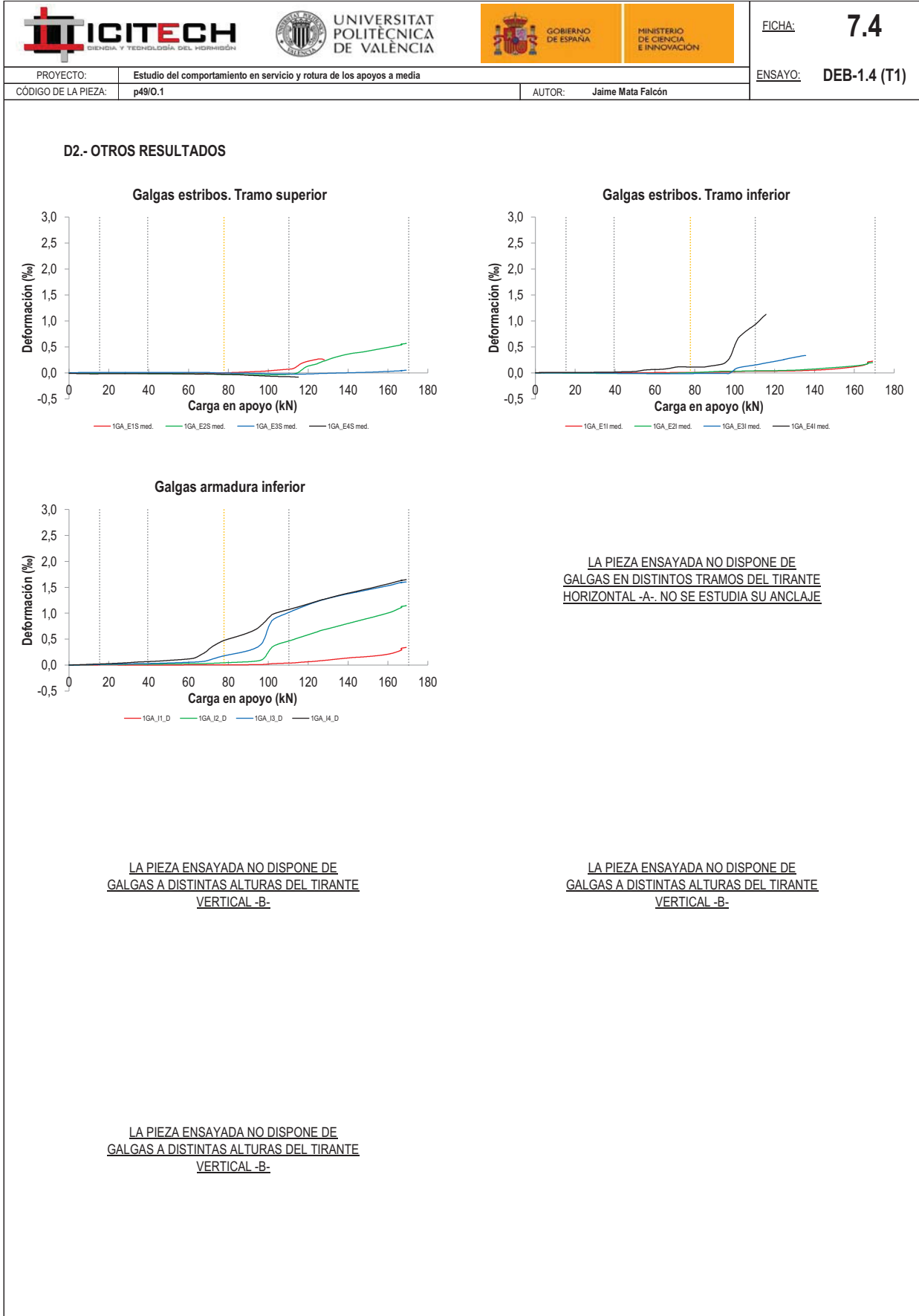
   		FICHA: 7.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.4 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 7.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.4 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
8,52	5%	0,00	0,36	0,01	0,00	0,01	0,00	-
17,04	10%	0,00	0,73	0,03	0,01	0,02	0,00	-
25,56	15%	0,00	1,09	0,10	0,05	0,04	0,00	-
34,09	20%	0,00	1,46	0,23	0,15	0,13	0,03	-
42,61	25%	0,13	1,82	0,93	0,58	0,60	0,21	-
51,13	30%	0,19	2,22	1,17	0,74	0,80	0,29	-
59,65	35%	0,25	2,55	1,40	0,93	1,09	0,39	-
68,17	40%	0,32	2,96	1,62	1,19	1,40	0,59	-
76,69	45%	0,39	3,36	1,79	1,43	1,72	1,08	-
85,21	50%	0,47	3,77	1,92	1,69	2,09	1,75	-
93,74	55%	0,52	4,30	2,05	1,95	2,47	2,30	-
102,26	60%	0,58	4,99	2,16	2,23	2,80	2,69	-
110,78	65%	0,62	5,70	2,27	2,52	3,12	3,00	-
119,30	70%	0,64	6,34	2,37	2,89	3,44	3,07	-
127,82	75%	0,70	7,12	2,50	3,24	-	3,10	-
136,34	80%	0,78	7,91	2,65	-	-	3,18	-
144,86	85%	0,84	-	2,82	-	-	3,37	-
153,39	90%	0,92	-	3,03	-	-	3,68	-
161,91	95%	1,04	-	3,39	-	-	4,17	-
170,43	100%	1,20	-	4,62	-	-	4,92	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	15,39	9,0%	0,00	0,66	0,03	0,01	0,02	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	39,50	23,2%	0,10	1,69	0,84	0,52	0,55	0,19	-
Abertura de fisura 0,20 mm	52,48	30,8%	0,20	2,28	1,21	0,77	0,84	0,30	-
Abertura de fisura 0,40 mm	77,77	45,6%	0,40	3,42	1,81	1,47	1,77	1,19	-
Abertura de fisura 0,60 mm	109,10	64,0%	0,60	5,58	2,25	2,47	3,05	2,94	-
Abertura de fisura 0,80 mm	139,42	81,8%	0,80	8,17	2,71	-	-	3,23	-
Primera plastificación	110,32	64,7%	0,62	5,66	2,27	2,51	3,10	2,98	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **7.6**

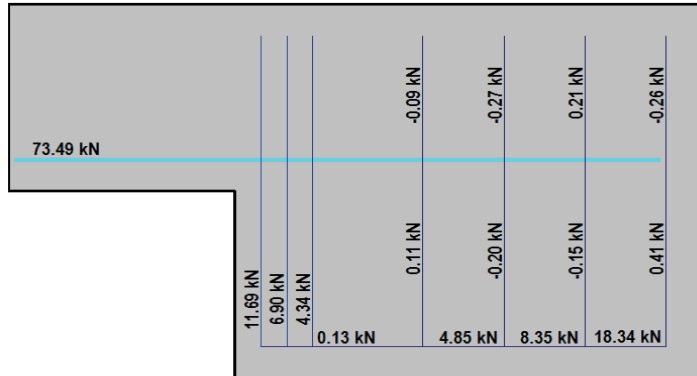
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1

AUTOR: Jaime Mata Falcón

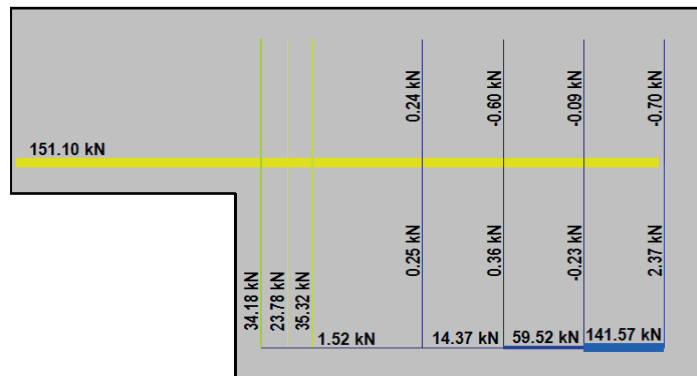
ENSAYO: **DEB-1.4 (T1)**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

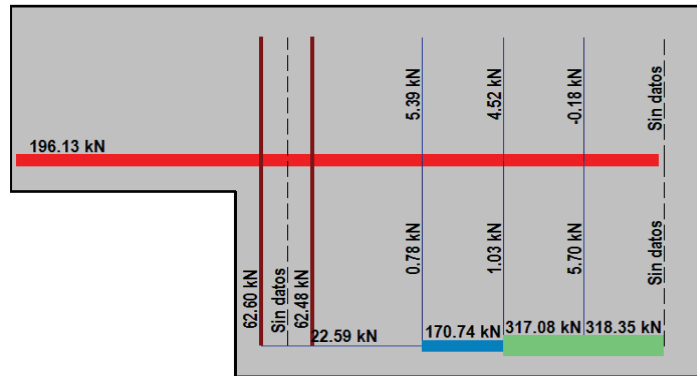
V (kN): 42,61
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,13



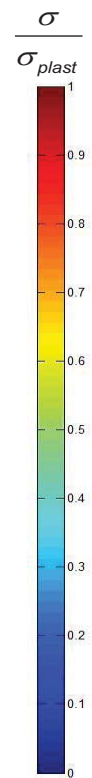
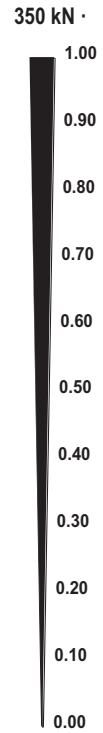
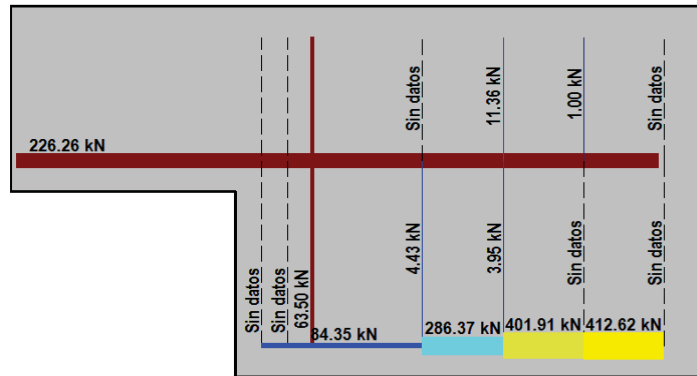
V (kN): 85,21
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,47







V (kN): 127,82
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,70




V (kN): 170,43
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,20




   		FICHA: 7.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.4 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN A 65% Vmax (w=0,6 mm)



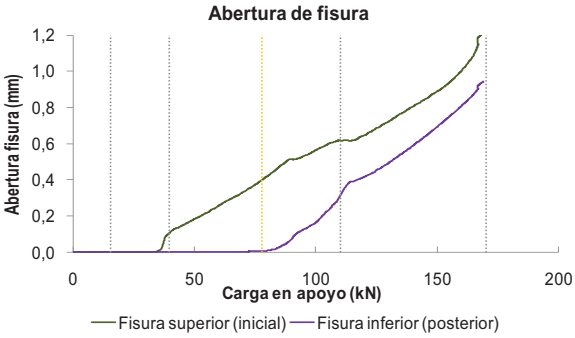
DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL TRAS LA ROTURA DEL OTRO APOYO



CAMBIO DE PTE. EN FISURA CUANDO APARECE OTRA CERCANA







Carga en apoyo (kN)	Abertura fisura superior (mm)	Abertura fisura inferior (mm)
0	0.0	0.0
40	0.1	0.0
80	0.4	0.0
100	0.6	0.1
120	0.8	0.4
140	1.0	0.7
160	1.1	0.9
170	1.1	0.9

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico con control de carga por velocidad de fuerza. La rotura se produce por el apoyo contrario al detallado en la presente ficha.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Este apoyo tiene la peculiaridad de que la primera fisura que se genera no parte exactamente de la esquina. Por este motivo cuando la fisura tiene una abertura de unos 0,4 mm se abre una segunda fisura también cerca de la esquina.
 - La primera fisura es la que tiene una mayor abertura, no obstante tiene una determinada pendiente en su progresión que se ve reducida por la aparición de la segunda fisura, ya que toda la deformación tiene que pasar a dividirse entre dos fisuras.
 - La abertura de fisura no se dispara cerca de la rotura, puesto que la rotura se produce por el apoyo contrario.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales; entre el 65% y el 80% de la carga plastifican los tres estribos que componen el tirante vertical y algo después la armadura horizontal. Pese a encontrarse plastificadas las armaduras este apoyo no se encuentra muy dañado. Se hará un ensayo posterior de recarga de este apoyo para obtener la carga máxima que resiste.

H.8 DEB-1.4 (T2)

				FICHA: 8.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 23/07/2010
 Edad (días): 37

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ10	Armado: 4φ8+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 3,93	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

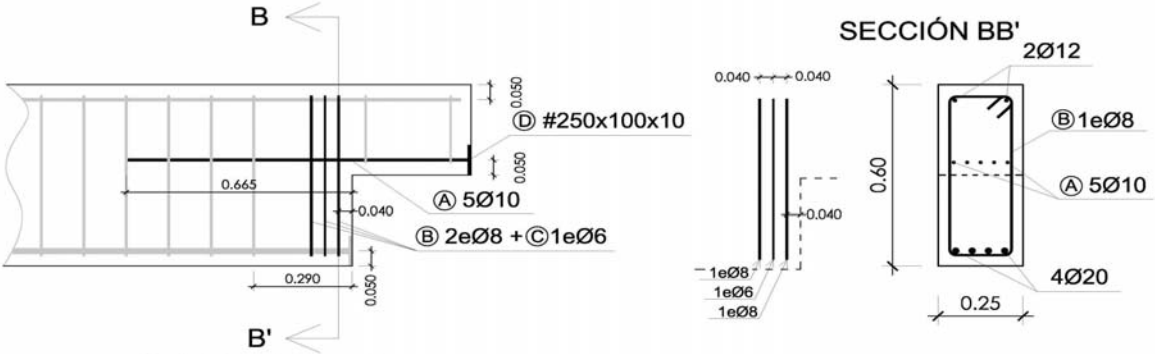
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 170,43
 V (w=0,4 mm) (kN): 63,04 37%
 Modo de fallo: SY (V1-H-V2-V3)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
40,4	3,19	0,00%	- -

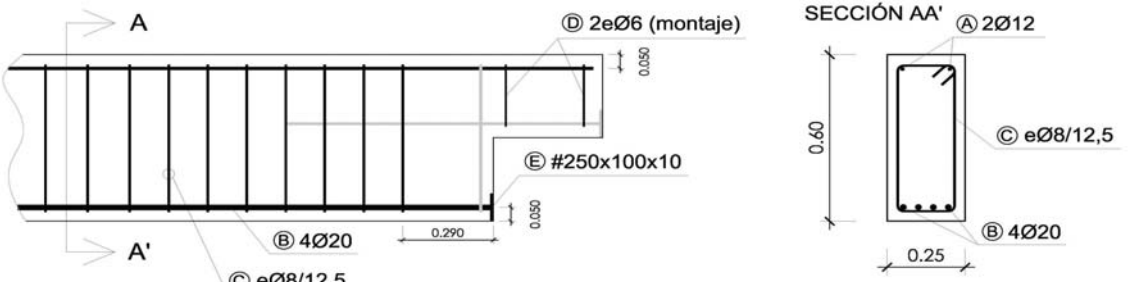
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

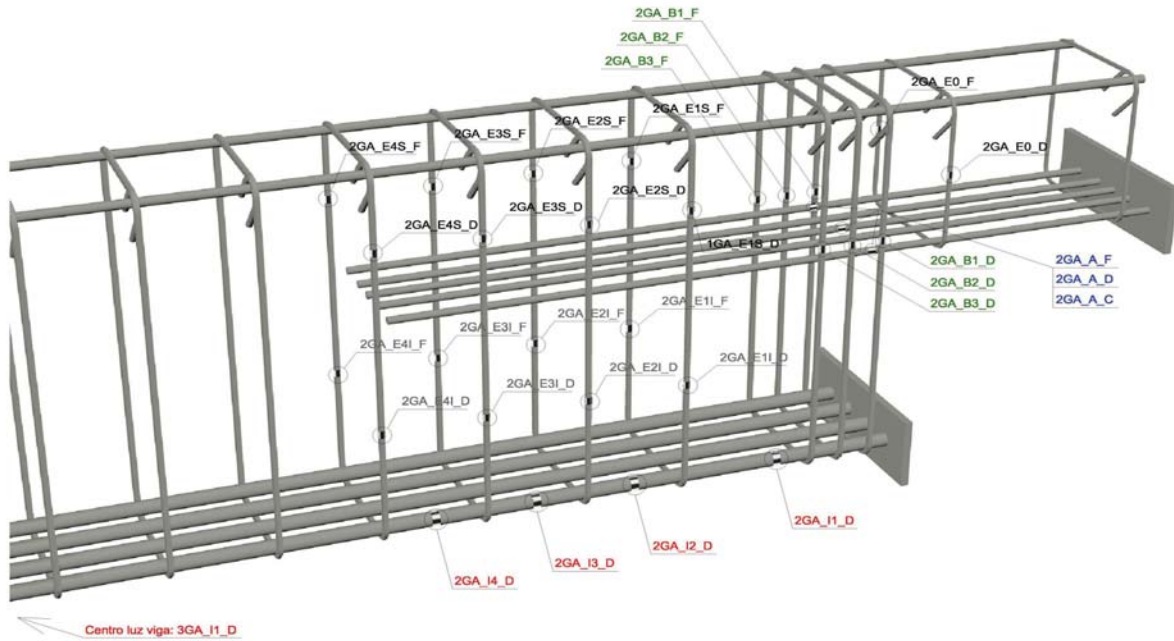
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.1

ENSAYO:	DEB-1.4 (T2)
---------	--------------

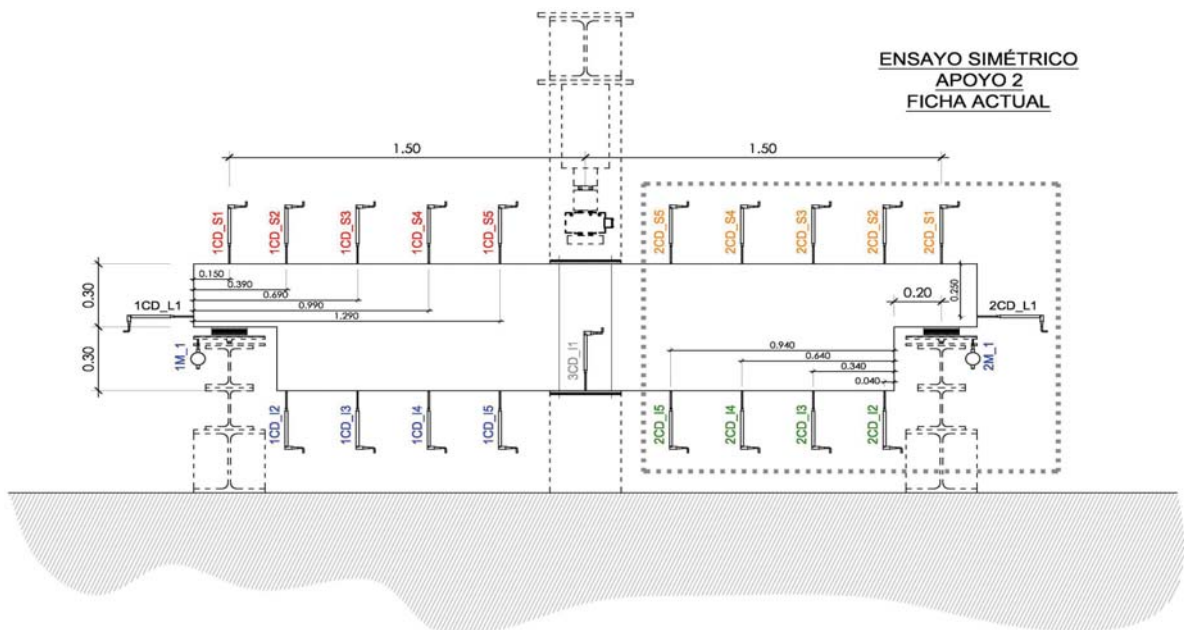
AUTOR: Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



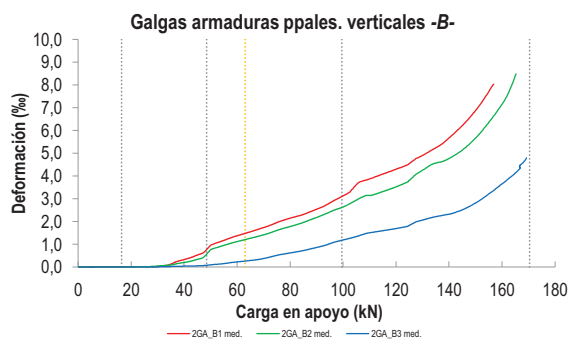
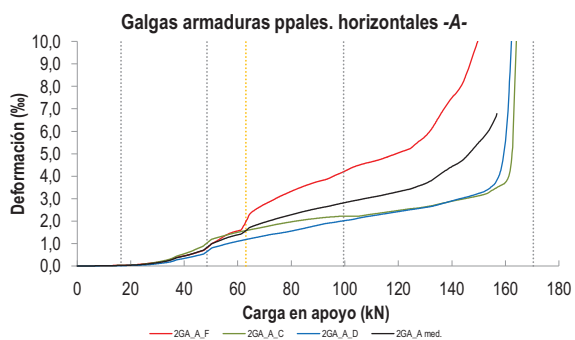
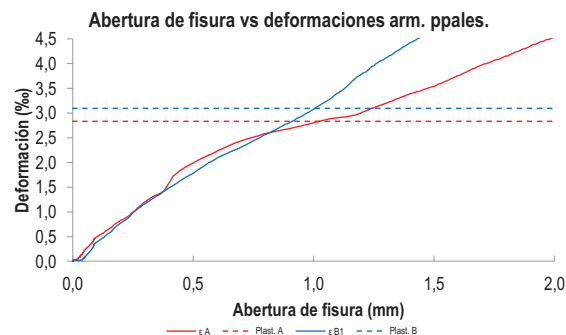
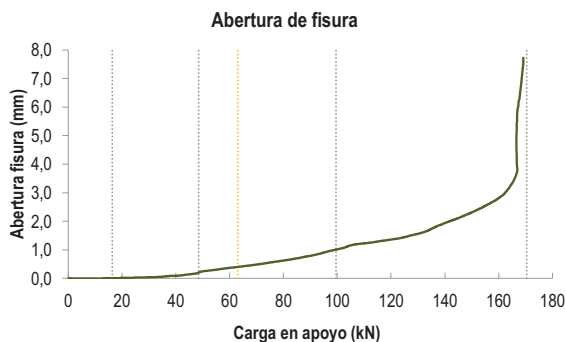
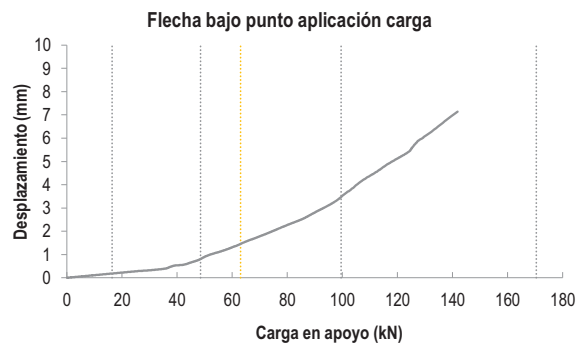
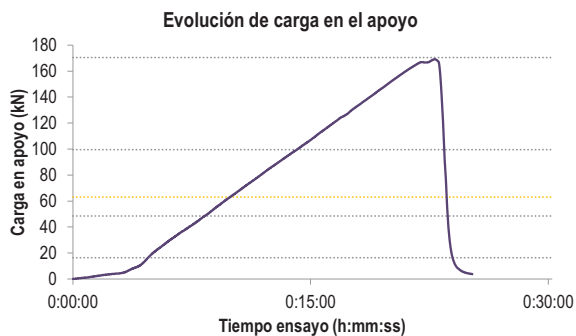
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 8.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

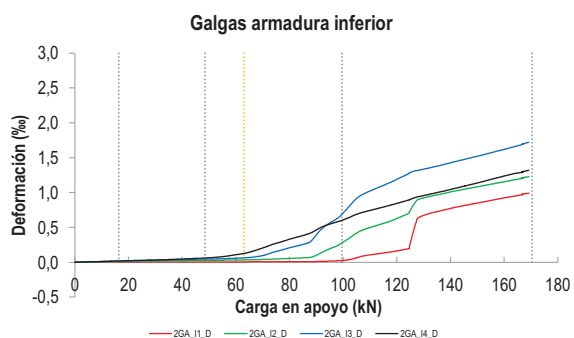
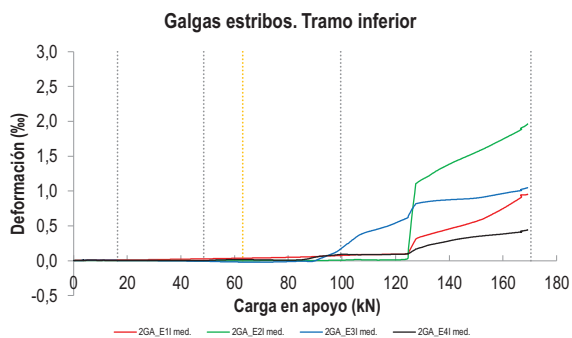
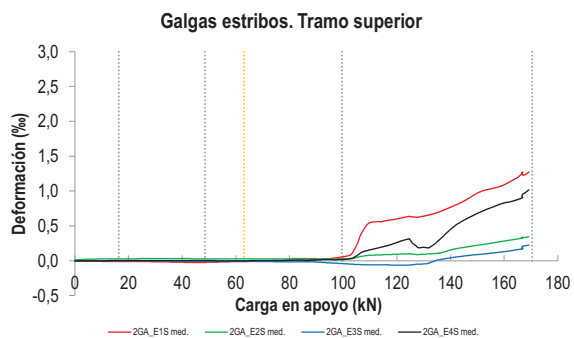
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

   		FICHA: 8.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

   		FICHA: 8.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.4 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

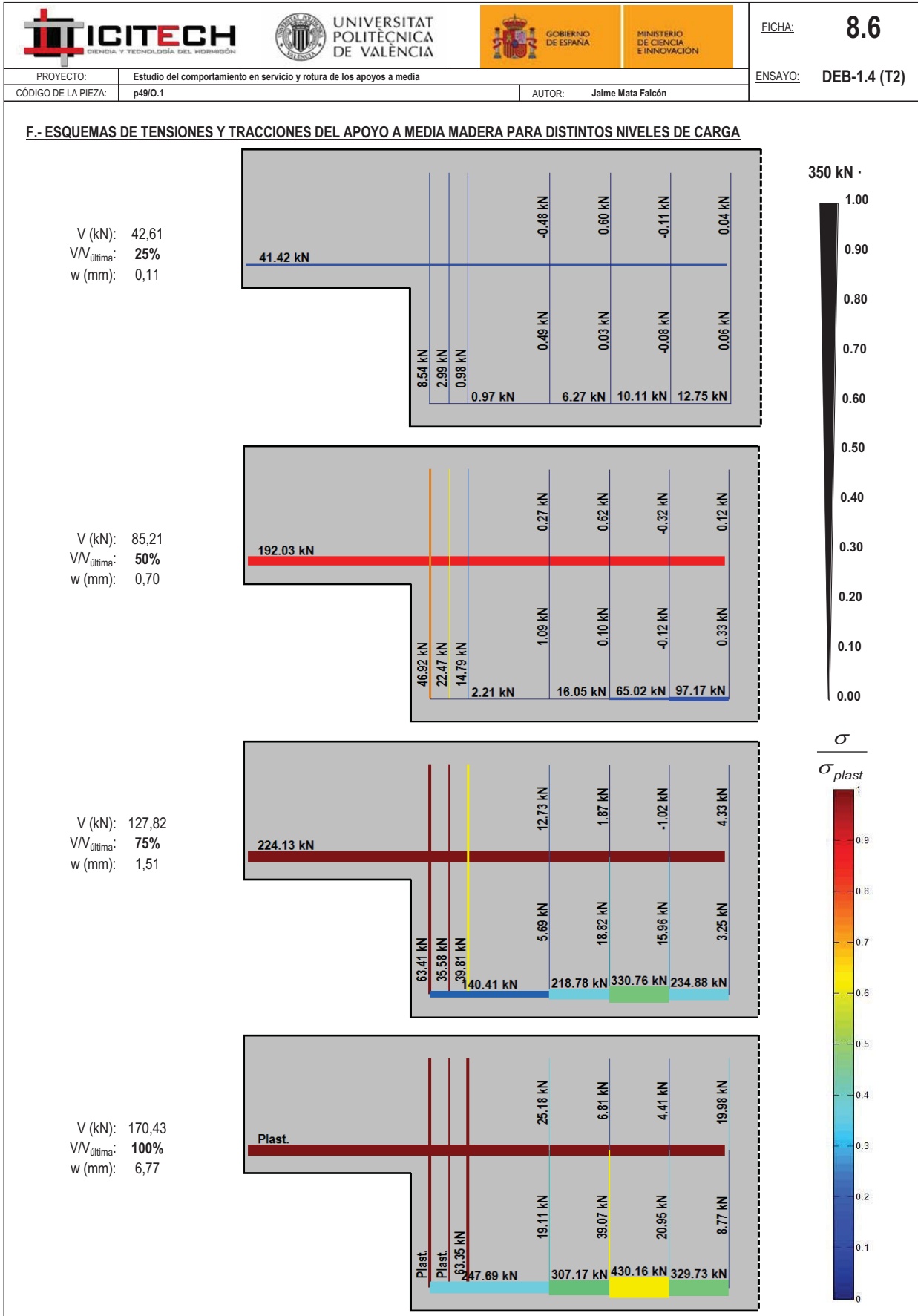
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
8,52	5%	0,00	0,09	0,01	0,02	0,00	0,00	-
17,04	10%	0,00	0,19	0,03	0,02	0,01	0,00	-
25,56	15%	0,03	0,28	0,08	0,01	0,02	0,00	-
34,09	20%	0,05	0,37	0,24	0,09	0,08	0,02	-
42,61	25%	0,11	0,57	0,53	0,42	0,26	0,05	-
51,13	30%	0,26	0,96	1,03	1,02	0,82	0,11	-
59,65	35%	0,36	1,29	1,38	1,36	1,11	0,22	-
68,17	40%	0,46	1,70	1,87	1,67	1,36	0,34	-
76,69	45%	0,58	2,10	2,18	2,03	1,67	0,55	-
85,21	50%	0,70	2,51	2,44	2,32	1,97	0,73	-
93,74	55%	0,87	3,04	2,66	2,73	2,35	0,98	-
102,26	60%	1,07	3,73	2,88	3,30	2,77	1,26	-
110,78	65%	1,23	4,44	3,08	3,90	3,17	1,52	-
119,30	70%	1,35	5,08	3,29	4,26	3,49	1,68	-
127,82	75%	1,51	5,86	3,56	4,75	4,06	1,97	-
136,34	80%	1,79	6,65	4,14	5,34	4,61	2,24	-
144,86	85%	2,11	-	4,83	6,20	5,13	2,51	-
153,39	90%	2,47	-	6,02	7,43	6,12	3,08	-
161,91	95%	3,00	-	-	-	7,59	3,83	-
170,43	100%	6,77	-	-	-	-	4,63	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,39	9,6%	0,00	0,18	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	48,50	28,5%	0,20	0,81	0,83	0,78	0,58	0,08	-
Abertura de fisura 0,20 mm	48,55	28,5%	0,20	0,81	0,83	0,78	0,58	0,08	-
Abertura de fisura 0,40 mm	63,04	37,0%	0,40	1,45	1,57	1,48	1,21	0,26	-
Abertura de fisura 0,60 mm	78,22	45,9%	0,60	2,18	2,23	2,08	1,72	0,59	-
Abertura de fisura 0,80 mm	90,17	52,9%	0,80	2,82	2,57	2,55	2,19	0,87	-
Primera plastificación	99,55	58,4%	1,00	3,47	2,81	3,10	2,62	1,18	-


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




								FICHA: 8.7	
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media		CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		ENSAYO: DEB-1.4 (T2)			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE RECUBRIMIENTO DESPRENDIDO







VISTA DE FISURA EN ESQUINA. LADO DORSAL



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el fallo de la pieza en este ensayo.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. No se encuentra con la fisura horizontal a la altura de la armadura superior que aparece cerca de la carga máxima y que produce el colapso de la estructura.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican antes de la rotura todos los tirantes principales. Plastifican simultáneamente la armadura horizontal y el primero de los estribos verticales; posteriormente plastifican los otros dos estribos del tirante vertical.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce ocasionada por la fisura que aparece a la altura de la armadura superior y que desprende todo el recubrimiento de hormigón, produciéndose el colapso de la estructura.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se descarga completamente la pieza tras alcanzar su resistencia máxima, por lo que no puede analizarse este comportamiento.

H.9 DEB-1.5 (T1)

				FICHA: 9.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.5 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.2
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 27/07/2010
 Edad (días): 41

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ10	Armado: 4φ8+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 2,36	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00
α: 60%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1: -
 Variante 2: -

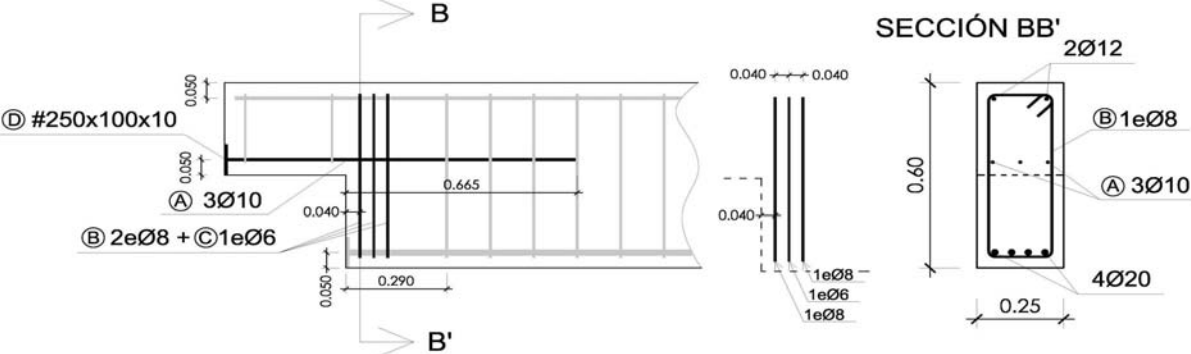
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
40,8	3,05	0,00%	- -

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 125,30
 V (w=0,4 mm) (kN): 48,47 39%
 Modo de fallo: SY (H-V2-V1)

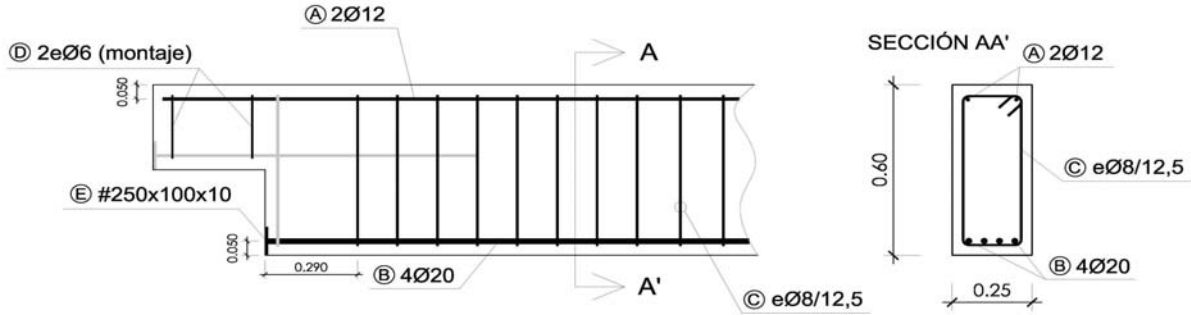
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

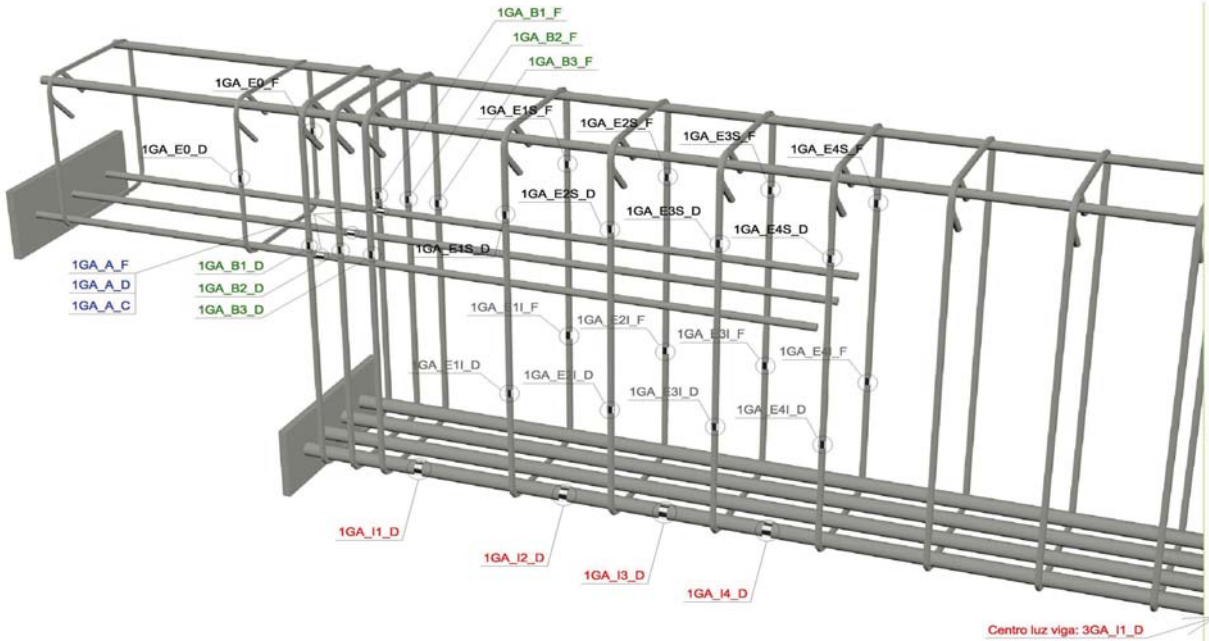
B2.- ARMADO DE LA VIGA



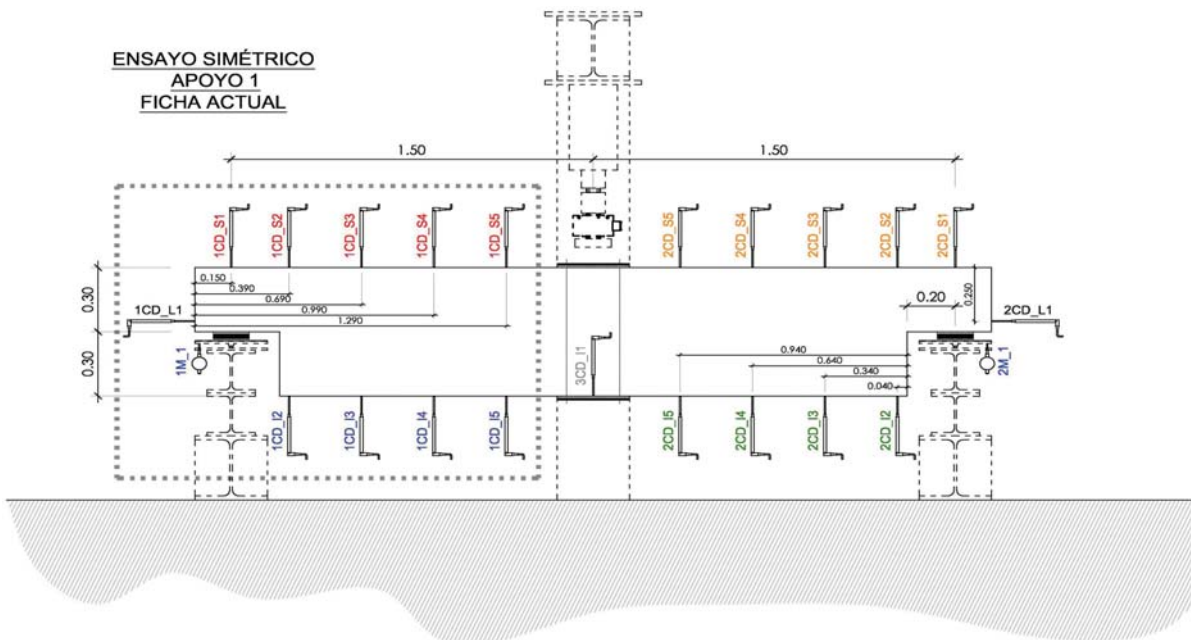
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



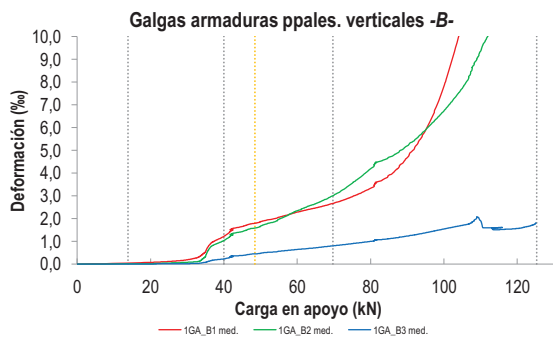
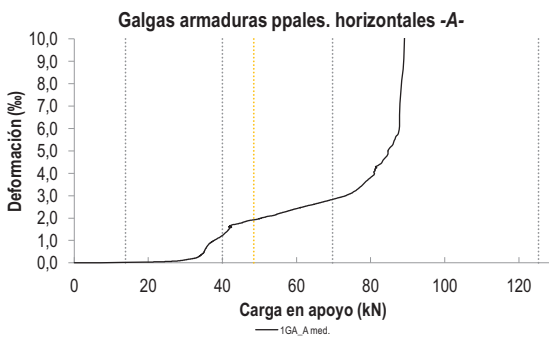
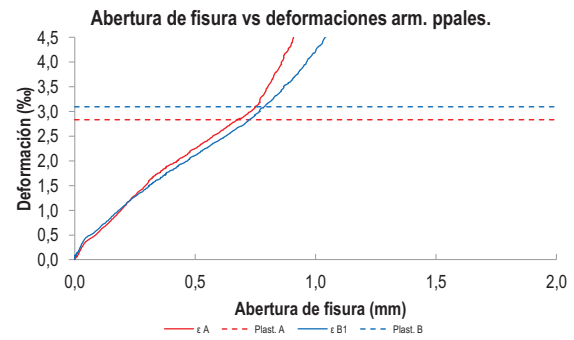
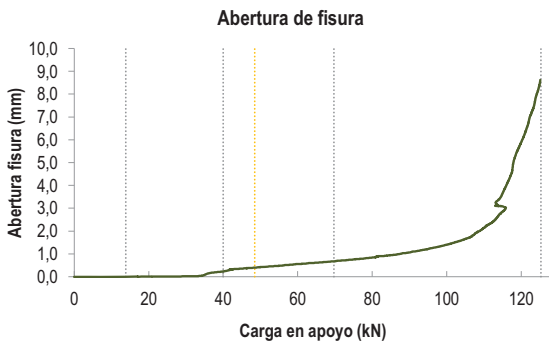
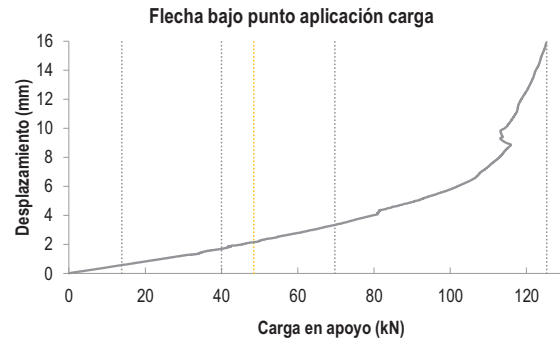
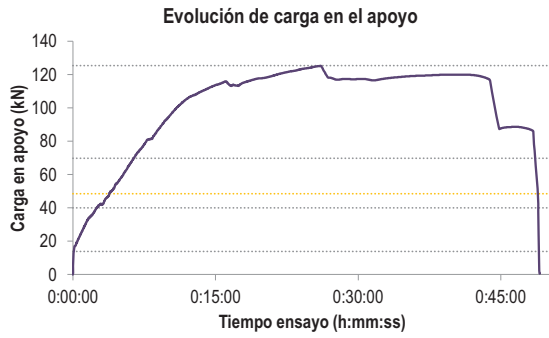
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



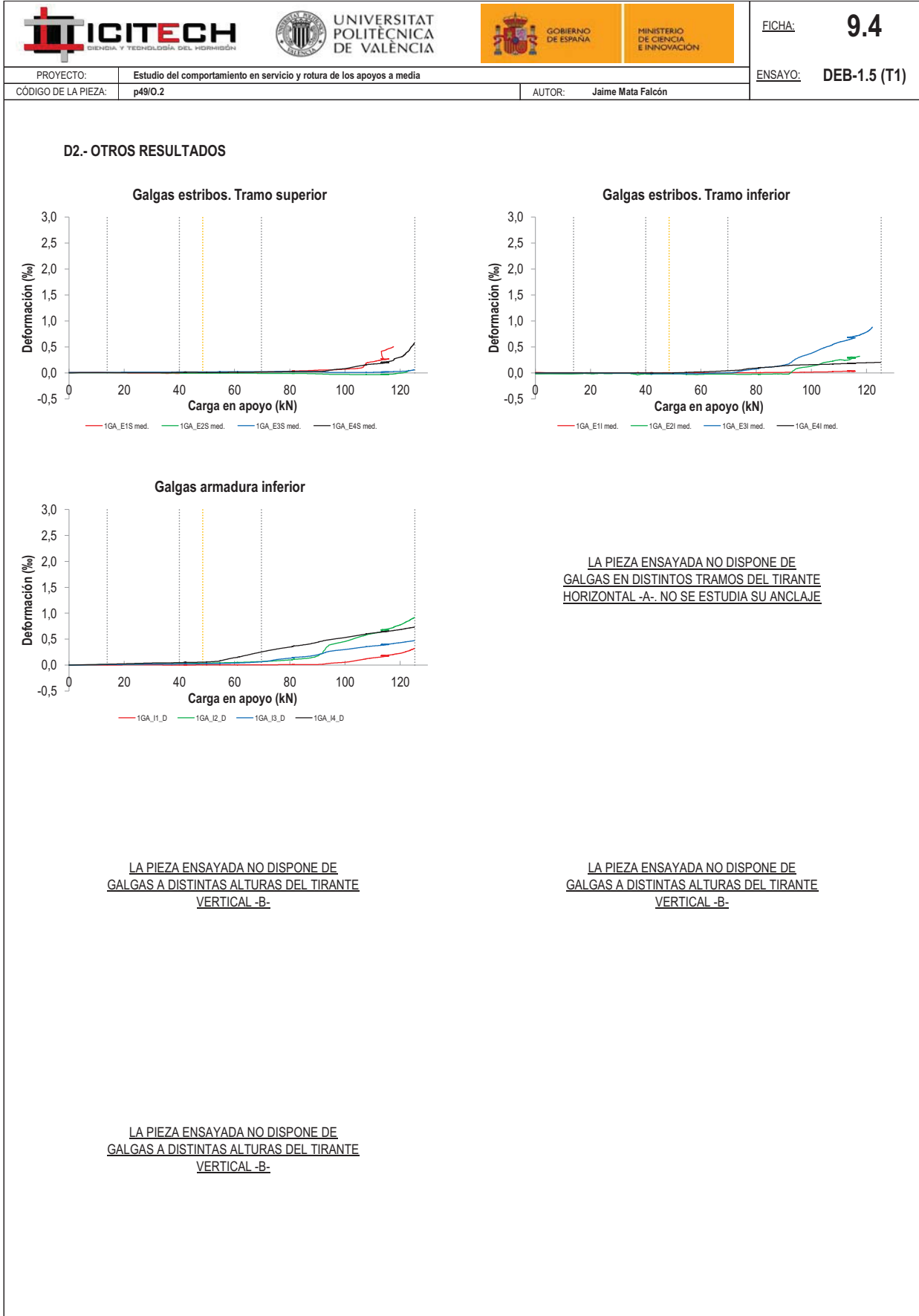
   		FICHA: 9.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.5 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 9.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.5 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

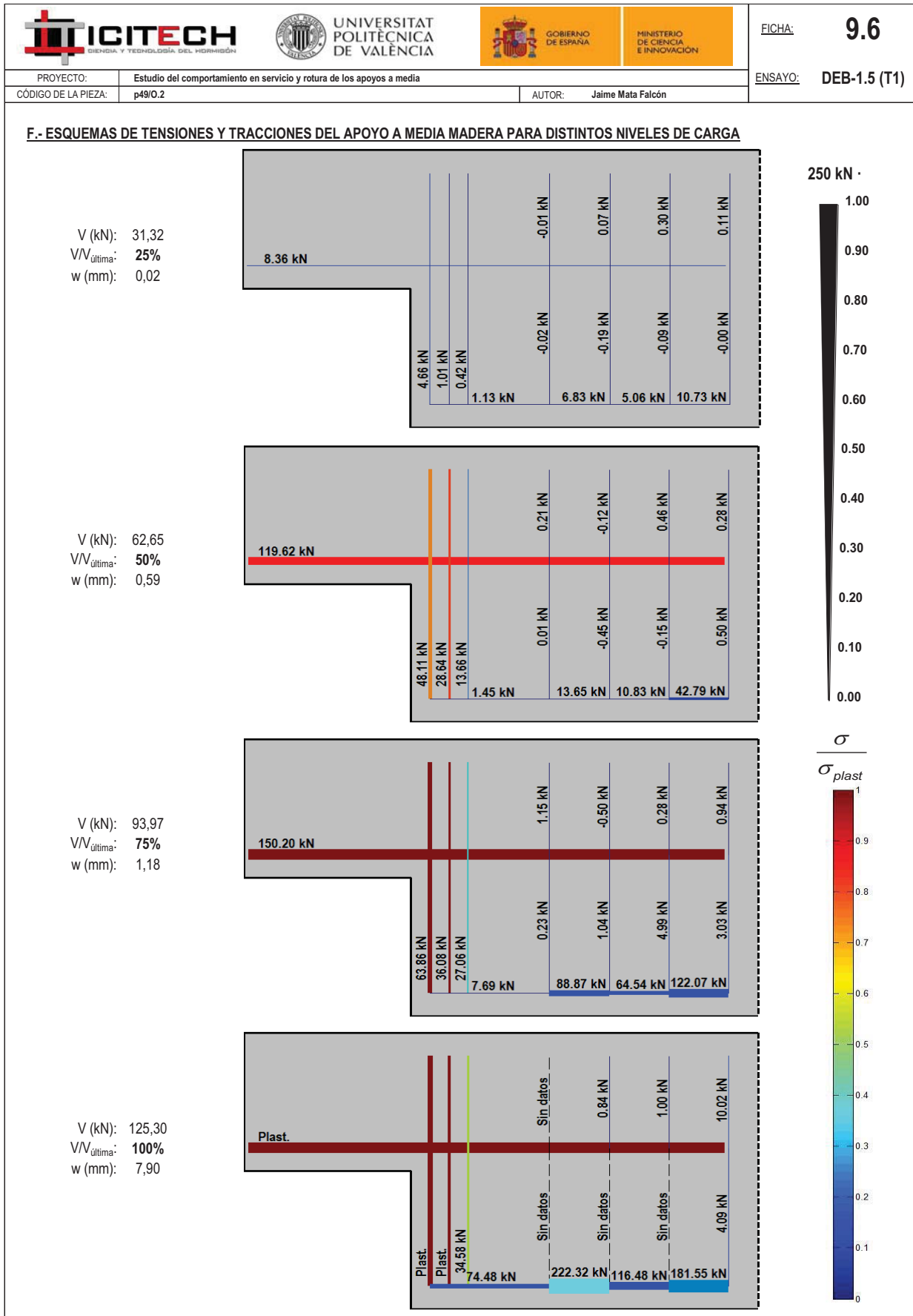
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
6,26	5%	-	-	-	-	-	-	-
12,53	10%	-	-	-	-	-	-	-
18,79	15%	0,00	0,77	0,04	0,07	0,01	0,00	-
25,06	20%	0,00	1,02	0,06	0,11	0,04	0,01	-
31,32	25%	0,02	1,27	0,18	0,23	0,09	0,02	-
37,59	30%	0,19	1,59	0,97	1,01	0,85	0,18	-
43,85	35%	0,35	1,94	1,74	1,62	1,40	0,37	-
50,12	40%	0,42	2,26	1,99	1,87	1,68	0,48	-
56,38	45%	0,50	2,60	2,25	2,11	2,06	0,58	-
62,65	50%	0,59	2,92	2,53	2,38	2,51	0,68	-
68,91	55%	0,67	3,29	2,80	2,63	2,95	0,79	-
75,18	60%	0,76	3,70	3,15	2,97	3,57	0,90	-
81,44	65%	0,87	4,20	4,12	3,50	4,39	1,04	-
87,71	70%	1,01	4,76	7,17	4,28	4,94	1,17	-
93,97	75%	1,18	5,24	16,40	5,59	5,73	1,34	-
100,24	80%	1,42	5,82	-	8,00	6,80	1,55	-
106,50	85%	1,80	6,68	-	11,93	8,25	1,79	-
112,77	90%	2,86	8,73	-	-	11,63	1,57	-
119,03	95%	5,36	12,01	-	-	-	1,55	-
125,30	100%	7,90	15,01	-	-	-	1,71	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,86	11,1%	0,00	0,56	0,02	0,04	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	40,00	31,9%	0,24	1,69	1,24	1,23	1,04	0,23	-
Abertura de fisura 0,20 mm	38,30	30,6%	0,20	1,62	1,05	1,07	0,91	0,19	-
Abertura de fisura 0,40 mm	48,47	38,7%	0,40	2,15	1,93	1,80	1,59	0,45	-
Abertura de fisura 0,60 mm	63,88	51,0%	0,60	2,99	2,58	2,42	2,58	0,69	-
Abertura de fisura 0,80 mm	77,62	62,0%	0,80	3,86	3,45	3,14	3,86	0,95	-
Primera plastificación	69,73	55,7%	0,68	3,34	2,83	2,66	3,01	0,80	-


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 9.7
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO:	DEB-1.5 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA




DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







DETALLE DE ARMADURAS HORIZONTALES ROTAS



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico. El apoyo detallado en la presente ficha es el apoyo más dañado y por el que se produce el colapso de la estructura.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior parte con una inclinación de unos 45° y al encontrarse con las armaduras, debido a la debilidad de la armadura horizontal, se hace prácticamente vertical.
 - Muy cerca de la fisura anterior, y para cargas cercanas a la máxima aparecen otras fisuras con similar inclinación.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. A la misma carga se produce la plastificación de la armadura horizontal y de los dos primeros estribos del tirante vertical. El tercer estribo del tirante vertical queda bastante lejos de la plastificación, como era previsible al ser un diseño con insuficiente armadura horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: Al irse deformando enormemente la sección D se abre mucho la fisura que parte de la esquina. Finalmente la elevada deformación acumulada en las armaduras horizontales acaba por romperlas.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima, la carga baja un 6% y se mantiene constante mientras la pieza se va deformando durante mucho rato. Finalmente se rompen físicamente las armaduras horizontales y la pieza colapsa.

H.10 DEB-1.5 (T2)

				FICHA: 10.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.5 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/O.2
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 27/07/2010
 Edad (días): 41

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ10	Armado: 4φ8+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 2,36	Área (cm ²): 2,58	Área (cm ²): 0,00
α: 60%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

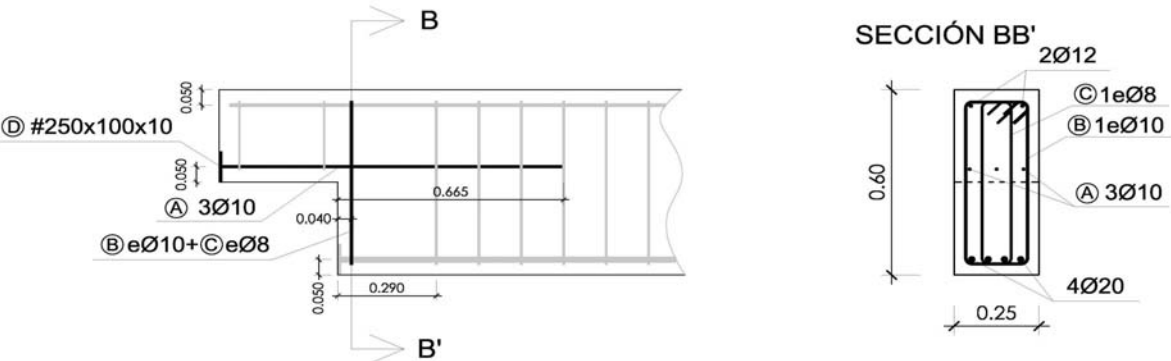
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Simétrico

V última (kN): 125,30
 V (w=0,4 mm) (kN): 52,61 42%
 Modo de fallo: SY (H-V1-V2)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
40,8	3,05	0,00%	- -

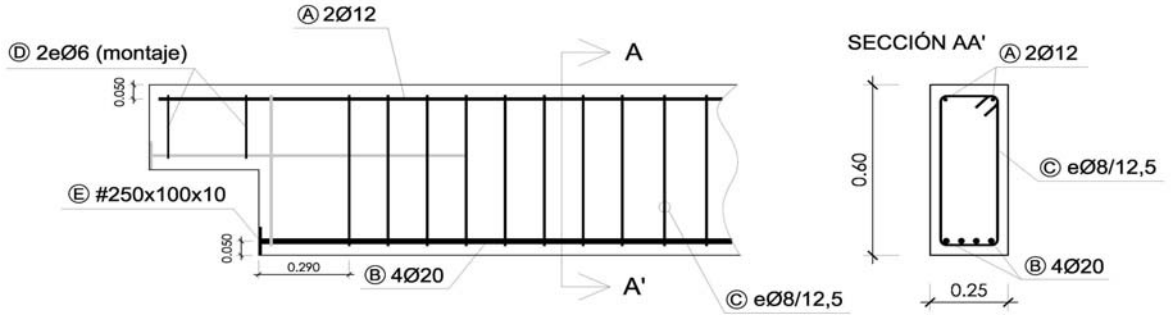
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

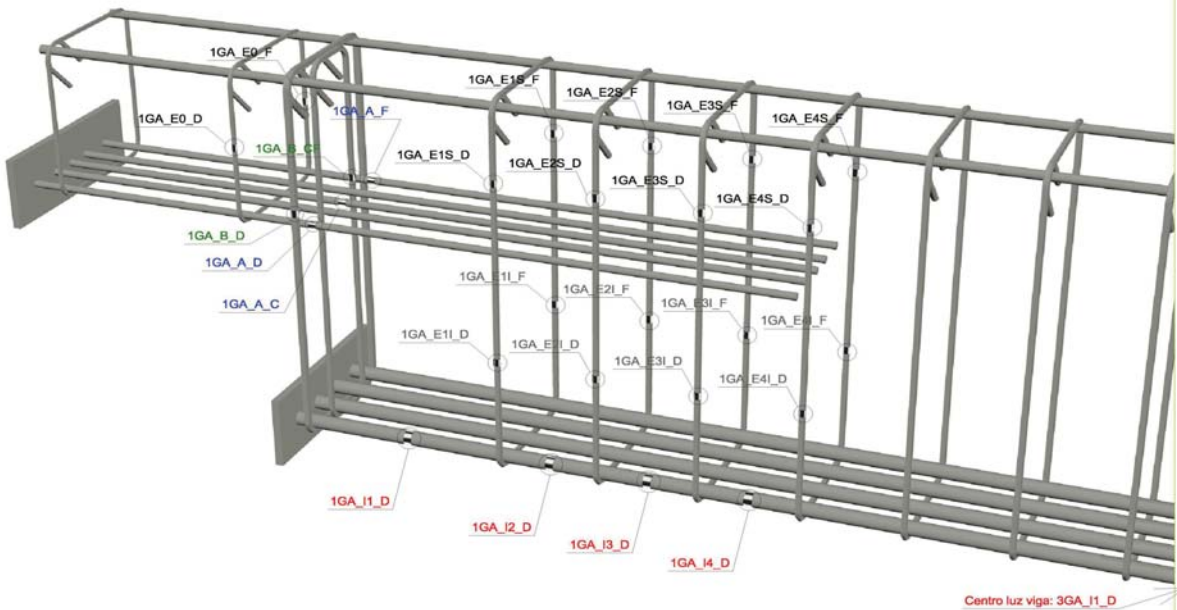
B2.- ARMADO DE LA VIGA



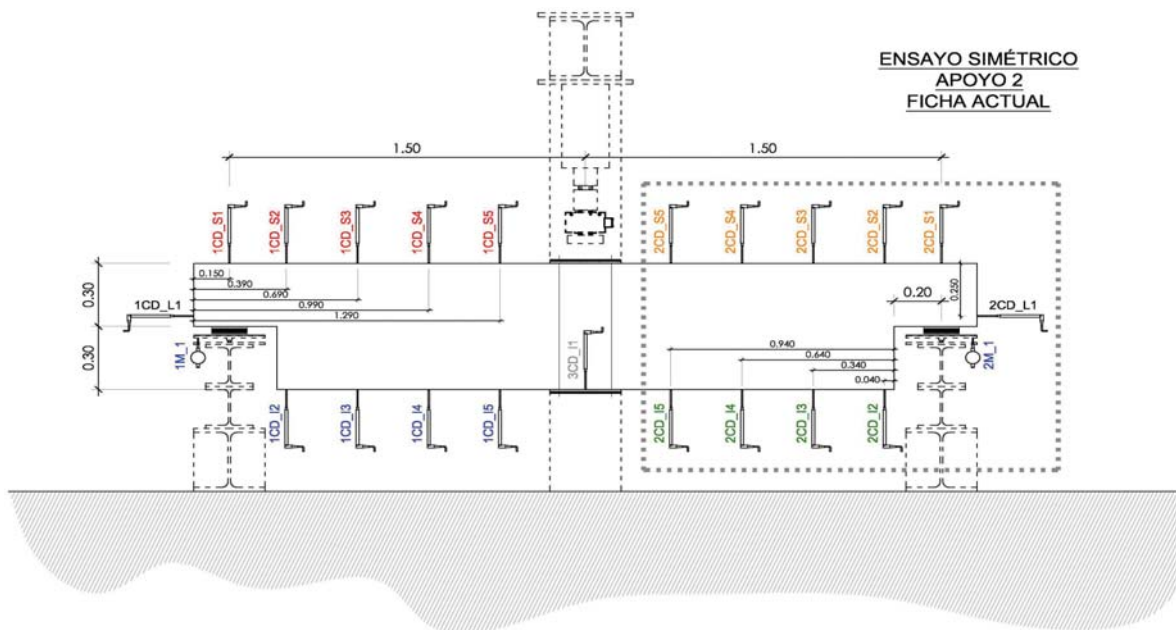
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



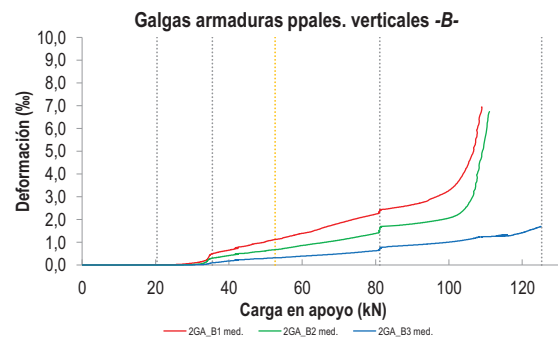
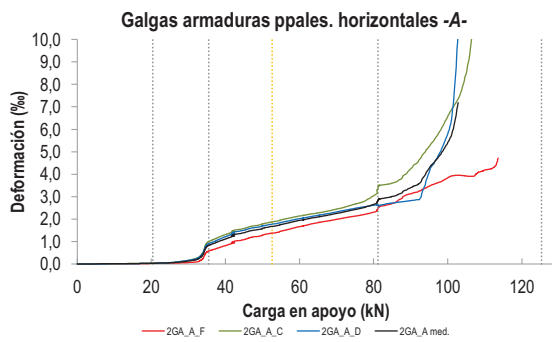
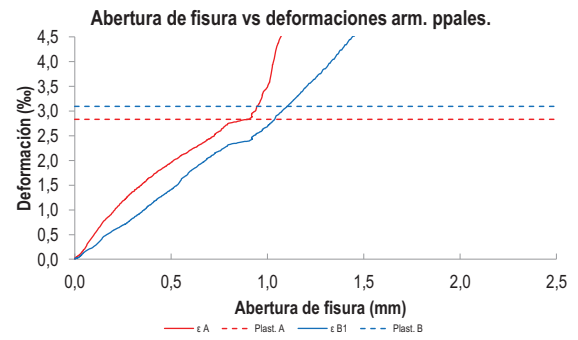
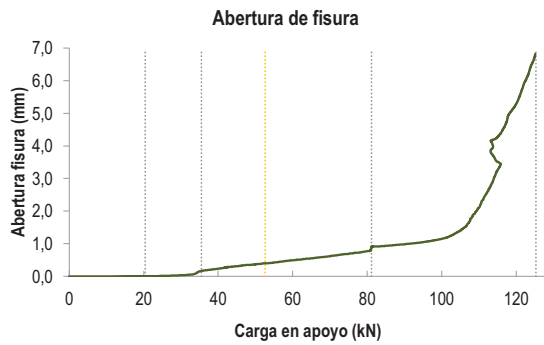
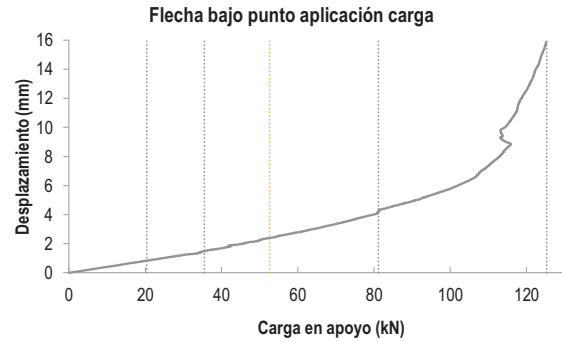
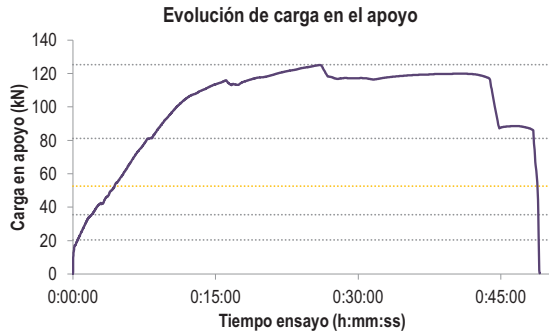
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



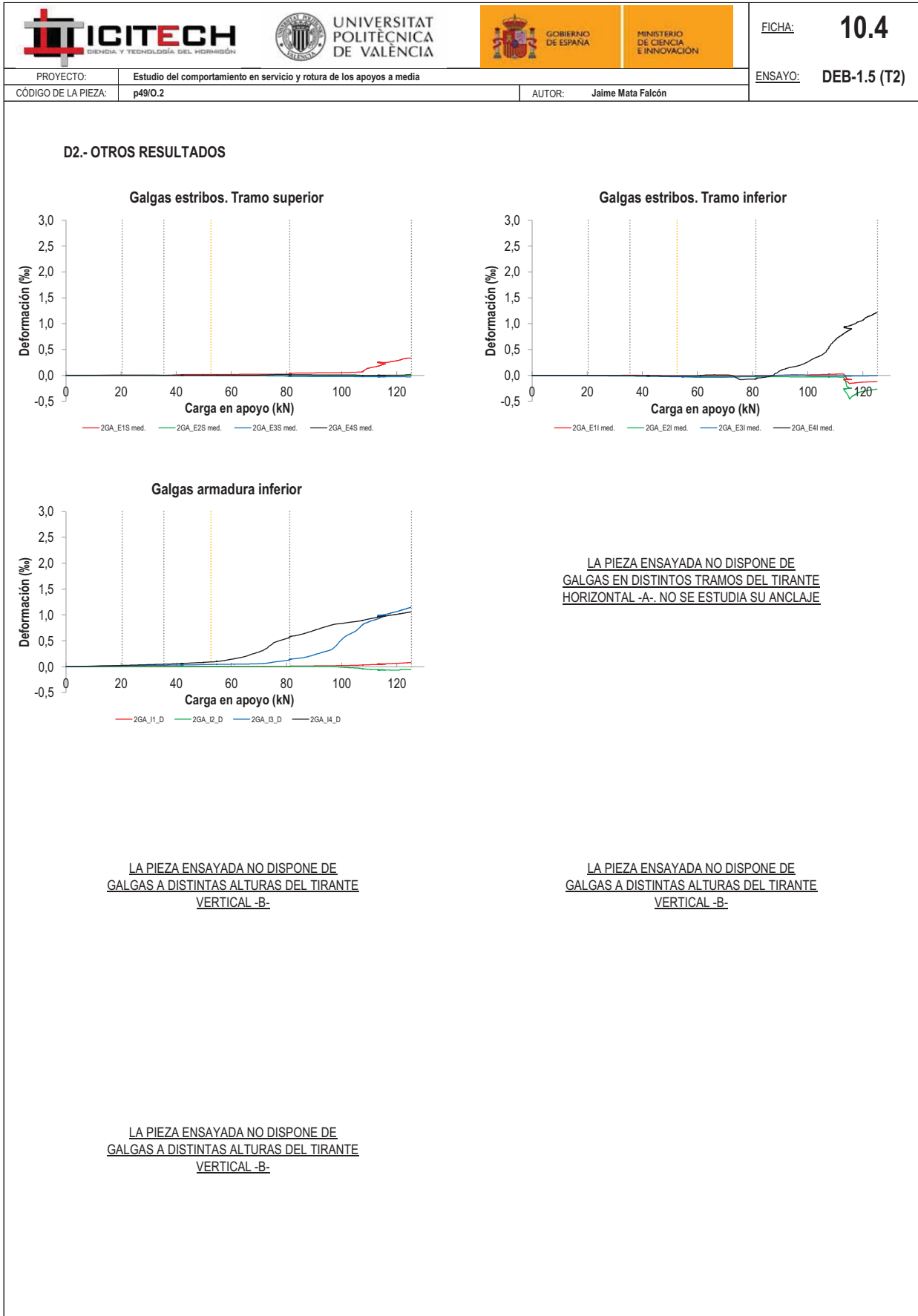
   		FICHA: 10.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.5 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 10.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.5 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

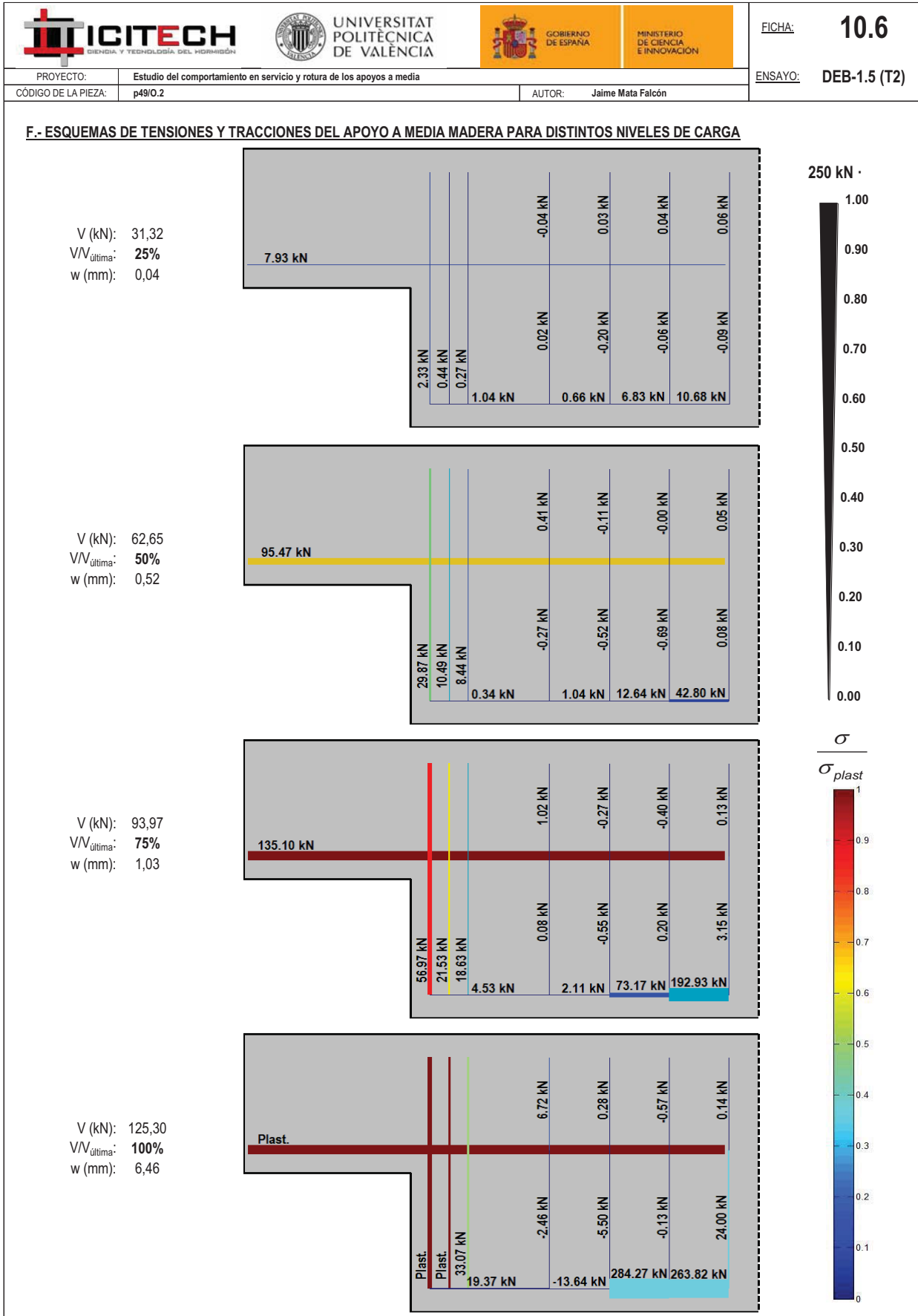
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
6,26	5%	-	-	-	-	-	-	-
12,53	10%	-	-	-	-	-	-	-
18,79	15%	0,00	0,77	0,03	0,01	0,00	0,00	-
25,06	20%	0,00	1,02	0,05	0,02	0,01	0,00	-
31,32	25%	0,04	1,27	0,17	0,12	0,04	0,01	-
37,59	30%	0,20	1,59	0,95	0,58	0,35	0,13	-
43,85	35%	0,30	1,94	1,36	0,83	0,52	0,24	-
50,12	40%	0,37	2,26	1,59	1,04	0,63	0,30	-
56,38	45%	0,44	2,60	1,81	1,26	0,76	0,35	-
62,65	50%	0,52	2,92	2,02	1,48	0,92	0,42	-
68,91	55%	0,60	3,29	2,22	1,79	1,07	0,48	-
75,18	60%	0,69	3,70	2,43	2,05	1,24	0,56	-
81,44	65%	0,86	4,20	2,81	2,37	1,57	0,71	-
87,71	70%	0,96	4,76	3,20	2,58	1,77	0,85	-
93,97	75%	1,03	5,24	3,98	2,82	1,89	0,92	-
100,24	80%	1,16	5,82	5,60	3,33	2,09	1,02	-
106,50	85%	1,61	6,68	-	5,24	3,35	1,17	-
112,77	90%	3,35	8,73	-	-	6,52	1,28	-
119,03	95%	5,09	12,01	-	-	-	1,38	-
125,30	100%	6,46	15,01	-	-	-	1,64	-





Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	20,41	16,3%	0,00	0,83	0,03	0,02	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	35,50	28,3%	0,16	1,48	0,80	0,48	0,29	0,09	-
Abertura de fisura 0,20 mm	37,68	30,1%	0,20	1,59	0,96	0,58	0,35	0,13	-
Abertura de fisura 0,40 mm	52,61	42,0%	0,40	2,39	1,67	1,11	0,68	0,32	-
Abertura de fisura 0,60 mm	68,31	54,5%	0,60	3,25	2,19	1,76	1,05	0,47	-
Abertura de fisura 0,80 mm	79,48	63,4%	0,80	4,01	2,66	2,24	1,40	0,64	-
Primera plastificación	81,15	64,8%	0,86	4,19	2,80	2,36	1,56	0,70	-


Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




   		FICHA: 10.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.5 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN PARA $w=1$ mm



DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo simétrico. La rotura se produce por el apoyo contrario al que se muestra en la presente ficha. No hay lugar para un ensayo de recarga, puesto que las armaduras se encuentran claramente plastificadas al final del ensayo.





- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:

- La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
- Esta fisura que parte de la esquina tiene una inclinación respecto a la horizontal de unos 60°. Se verticaliza debido a la debilidad de la armadura horizontal.
- La fisuración de este apoyo a partir de la carga máxima no aumenta excesivamente. Todo el deterioro en esta fase corresponde al apoyo contrario.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente la armadura horizontal y algo después los dos primeros estribos de la armadura vertical. Pese a estar bastante dañado este apoyo no rompe.

H.11 DEB-1.6 (T1)

				FICHA: 11.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 19/11/2010
 Edad (días): 21

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1: -
 Variante 2: -

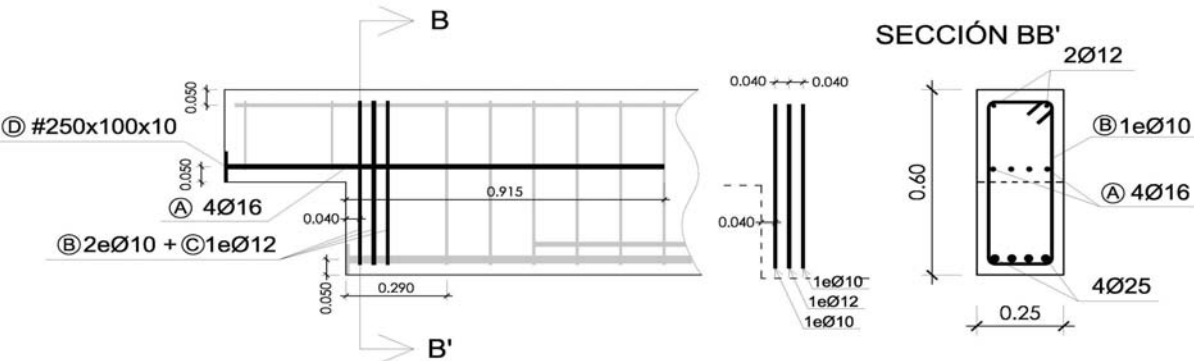
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
31,1	3,19	0,00%	-	-

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 309,22
 V (w=0,4 mm) (kN): 107,79 35%
 Modo de fallo: SY+SP (V1-H-V2-V3)

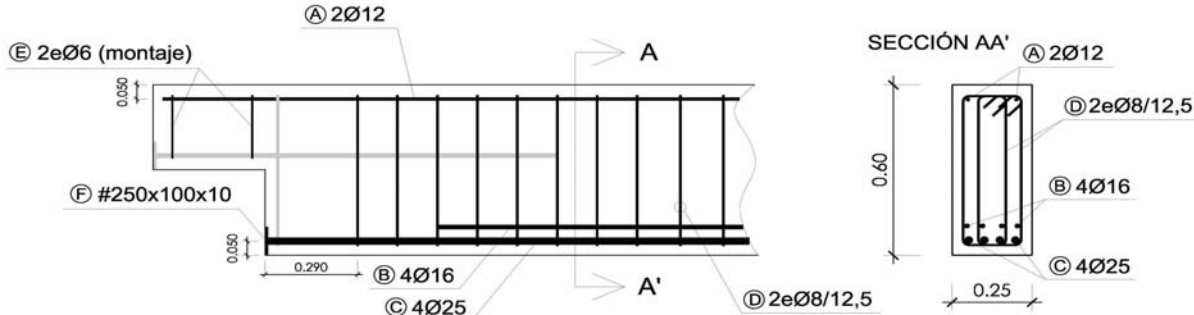
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

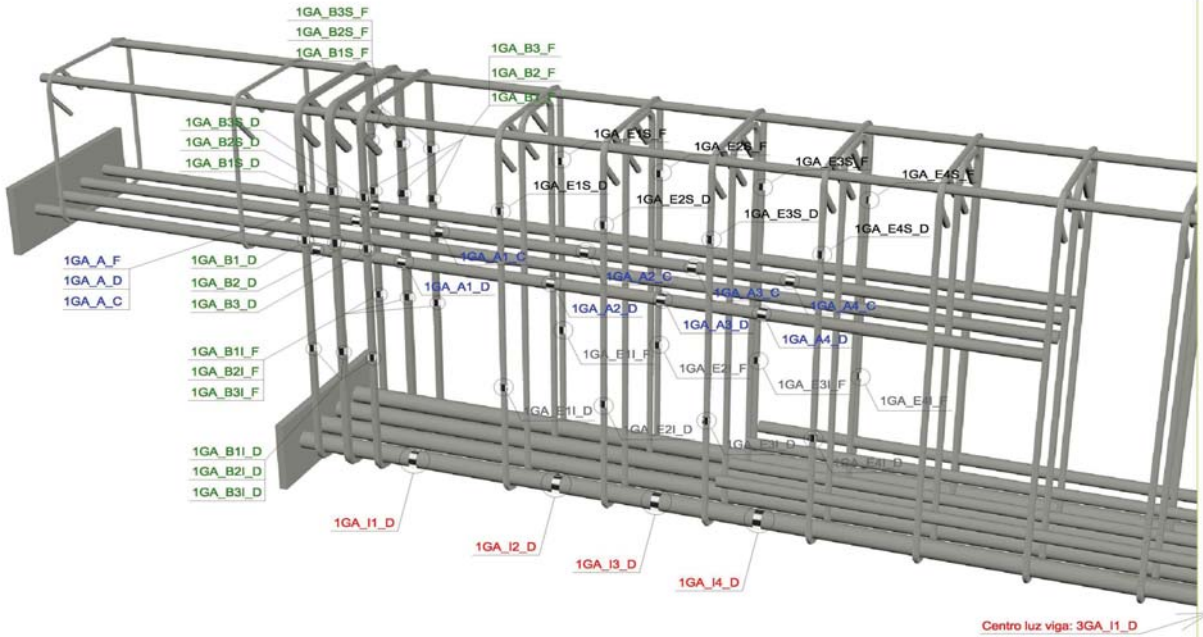
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1

ENSAYO: **DEB-1.6 (T1)**

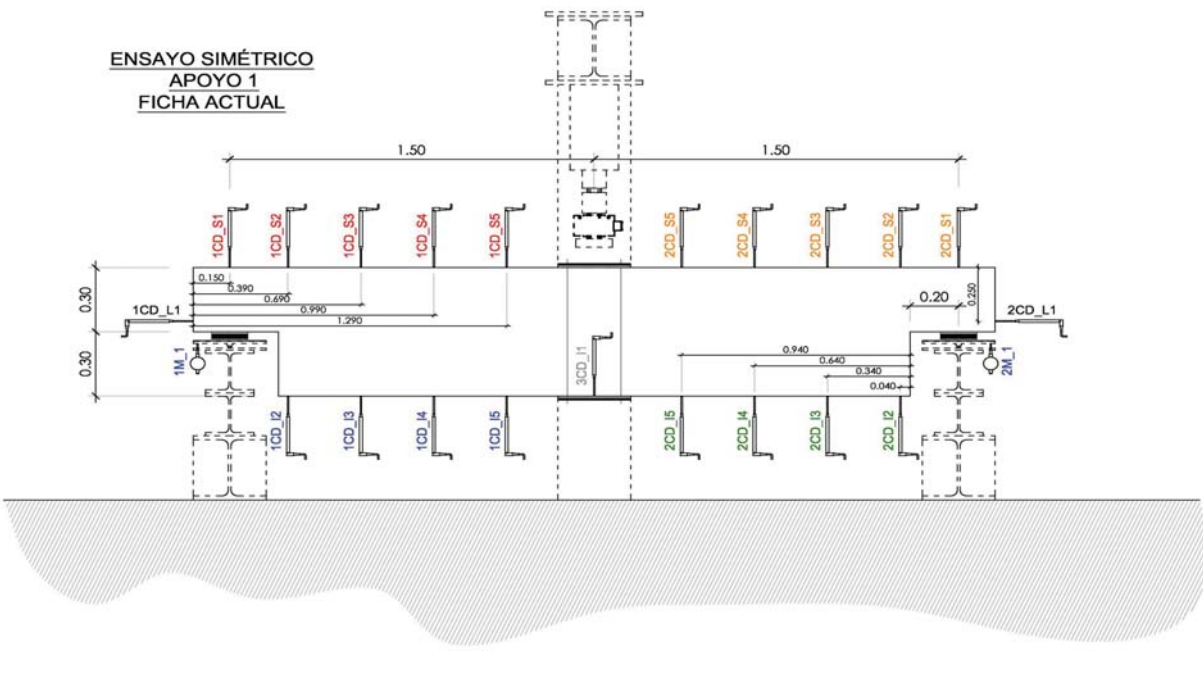
AUTOR: Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



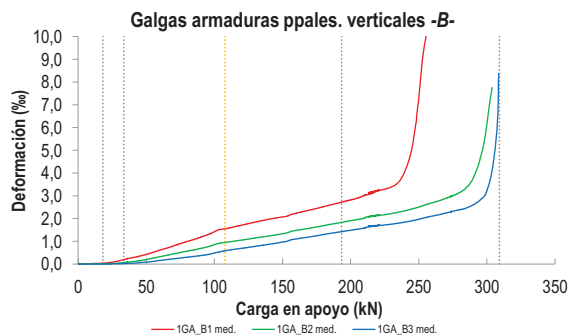
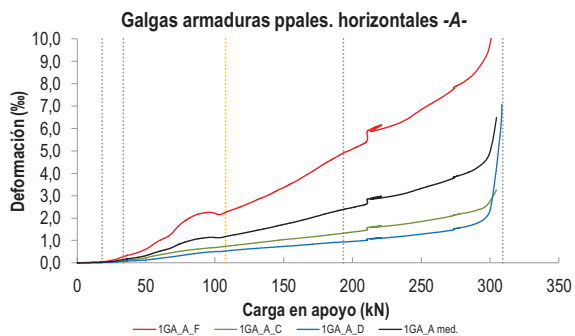
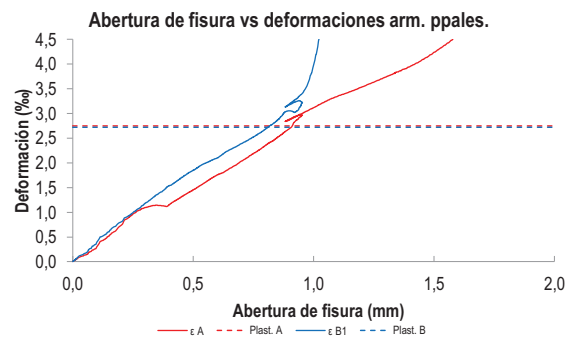
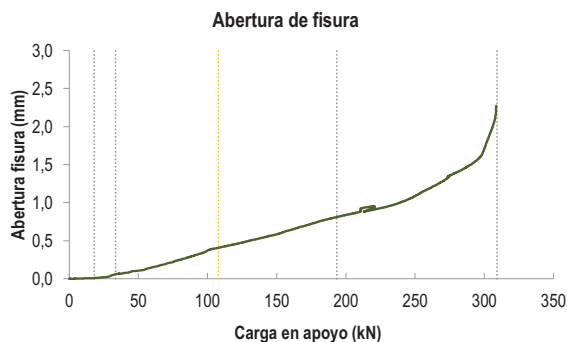
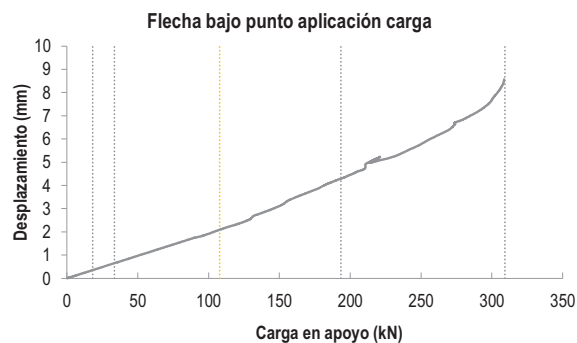
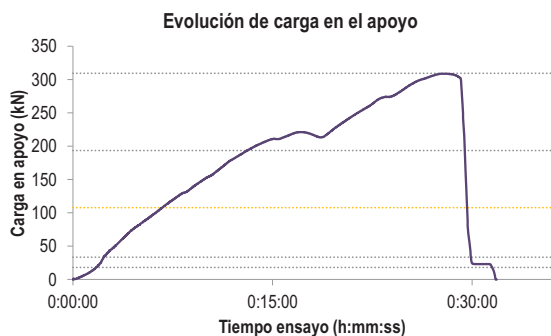
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 11.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

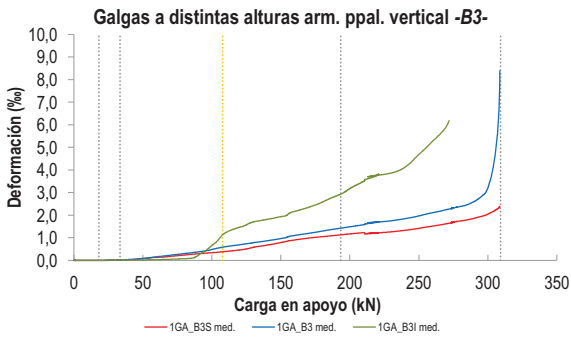
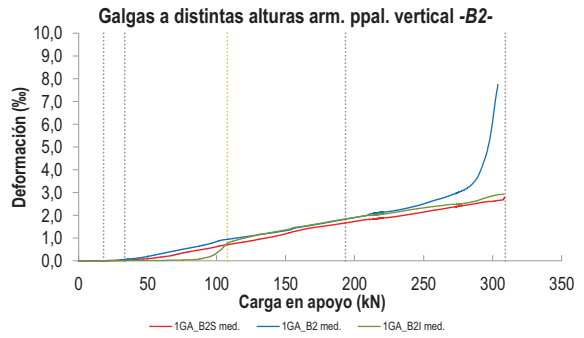
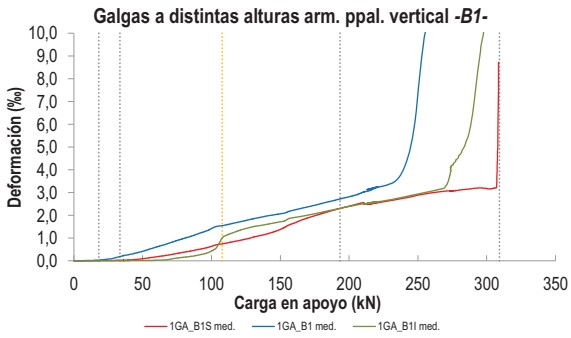
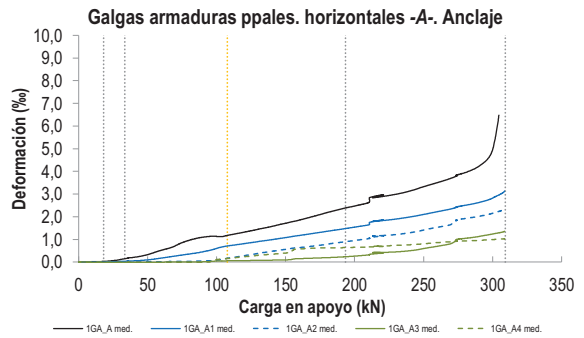
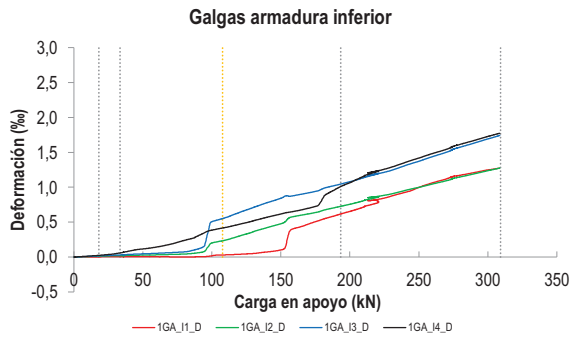
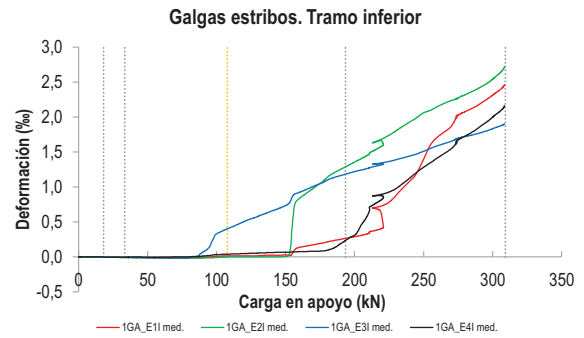
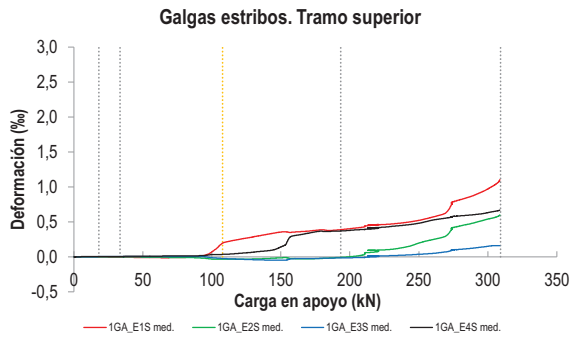
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

D2.- OTROS RESULTADOS



   		FICHA: 11.5
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
15,46	5%	0,00	0,30	0,02	0,03	0,01	0,00	-
30,92	10%	0,05	0,60	0,12	0,16	0,05	0,02	-
46,38	15%	-	0,90	0,28	0,37	0,16	0,06	-
61,84	20%	0,16	1,20	0,55	0,64	0,34	0,17	-
77,30	25%	0,24	1,50	0,90	0,94	0,53	0,28	-
92,76	30%	0,32	1,78	1,12	1,24	0,72	0,39	-
108,23	35%	0,41	2,10	1,18	1,55	0,95	0,59	-
123,69	40%	0,47	2,41	1,37	1,76	1,09	0,72	-
139,15	45%	0,54	2,85	1,56	1,96	1,23	0,86	-
154,61	50%	0,61	3,28	1,78	2,13	1,40	1,03	-
170,07	55%	0,69	3,69	2,01	2,37	1,58	1,20	-
185,53	60%	0,78	4,11	2,27	2,60	1,75	1,35	-
200,99	65%	0,84	4,49	2,49	2,83	1,92	1,50	-
216,45	70%	0,92	5,08	2,91	3,17	2,12	1,67	-
231,91	75%	0,96	5,28	3,02	3,47	2,24	1,77	-
247,37	80%	1,06	5,70	3,27	6,22	2,46	1,93	-
262,83	85%	1,21	6,17	3,55	-	2,74	2,14	-
278,29	90%	1,36	6,74	3,87	-	3,04	2,34	-
293,76	95%	1,57	7,37	4,47	-	4,62	2,81	-
309,22	100%	2,04	8,23	6,18	-	7,60	5,58	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

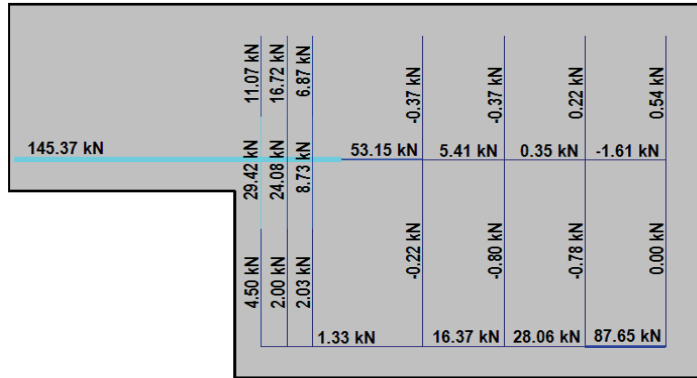
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,15	5,9%	0,00	0,35	0,03	0,04	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	33,50	10,8%	0,06	0,65	0,15	0,19	0,07	0,02	-
Abertura de fisura 0,20 mm	71,22	23,0%	0,20	1,39	0,76	0,82	0,46	0,24	-
Abertura de fisura 0,40 mm	107,79	34,9%	0,40	2,09	1,17	1,55	0,95	0,58	-
Abertura de fisura 0,60 mm	151,55	49,0%	0,60	3,17	1,74	2,09	1,35	0,98	-
Abertura de fisura 0,80 mm	194,26	62,8%	0,80	4,31	2,40	2,74	1,84	1,43	-
Primera plastificación	193,41	62,5%	0,81	4,30	2,39	2,72	1,83	1,43	-

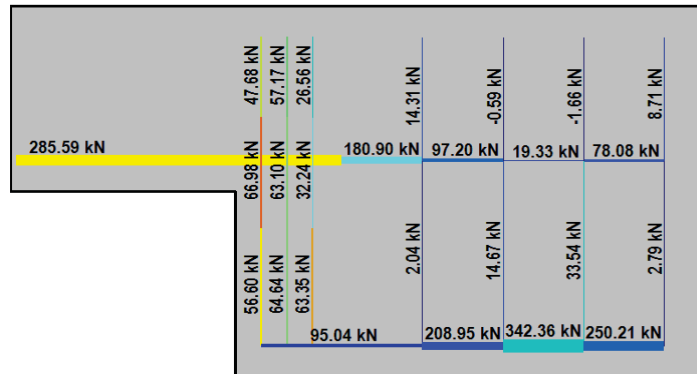
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

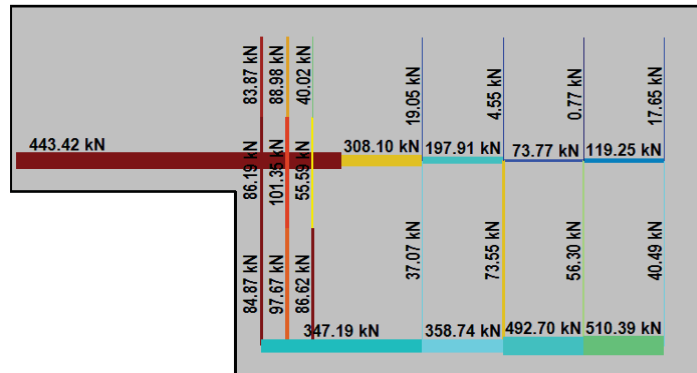
V (kN): 77,30
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,24



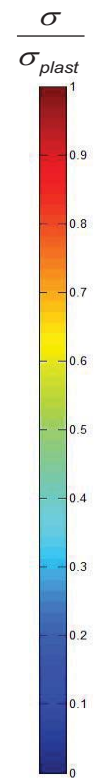
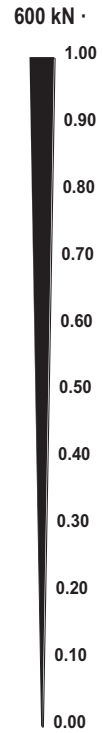
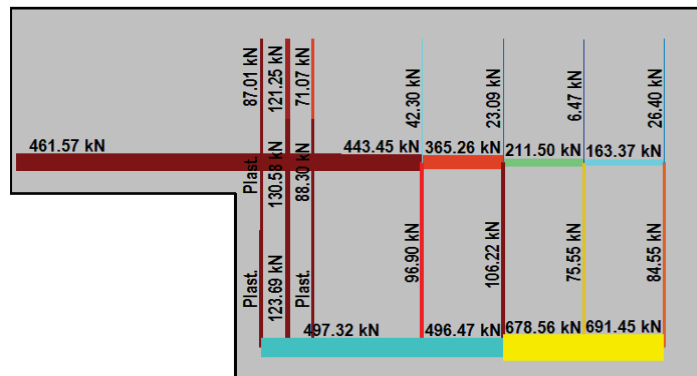
V (kN): 154,61
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,61







V (kN): 231,91
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,96




V (kN): 309,22
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,04




 		 		FICHA: 11.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.6 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA




VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA. INSTANTE DE COLAPSO







VISTA DE DETALLE FALLO DE ANCLAJE ESTRIBOS VERTICALES



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: Salta ligeramente el recubrimiento sobre el apoyo ensayado, pero no tiene consecuencias en la resistencia alcanzada. Parece que al saltar el recubrimiento superior del hormigón falla el anclaje de los estribos verticales y la pieza pierde toda la carga.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al llegar a la armaduras principales se divide en varias.
 - Conforme aumenta la carga se producen distintas bielas desde el apoyo y la placa de anclaje de la armadura horizontal, que llevan la dirección de la biela. Estas fisuras buscan la parte superior de los estribos verticales y provocan el levantamiento del recubrimiento superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y poco después la armadura horizontal. Ya cerca de la rotura se produce la plastificación de los otros dos estribos (B2-B3).
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: El progreso de las fisuras desde el apoyo produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón, que se traduce en el colapso de la pieza.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima se produce el levantamiento del recubrimiento y la pieza colapsa de manera súbita.

H.12 DEB-1.6 (T2)

				FICHA: 12.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 19/11/2010
 Edad (días): 21

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1: -
 Variante 2: -

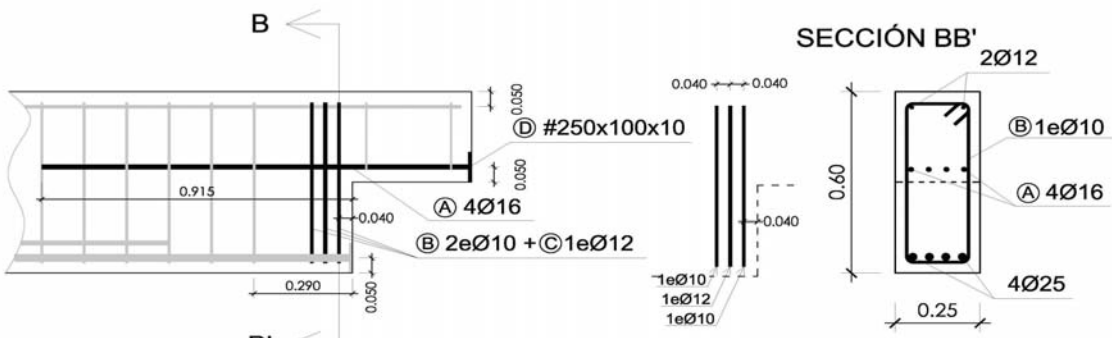
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
31,1	3,19	0,00%	- -

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 250,90
 V (w=0,4 mm) (kN): 80,03 32%
 Modo de fallo: SY+SP (V1-H-V2)

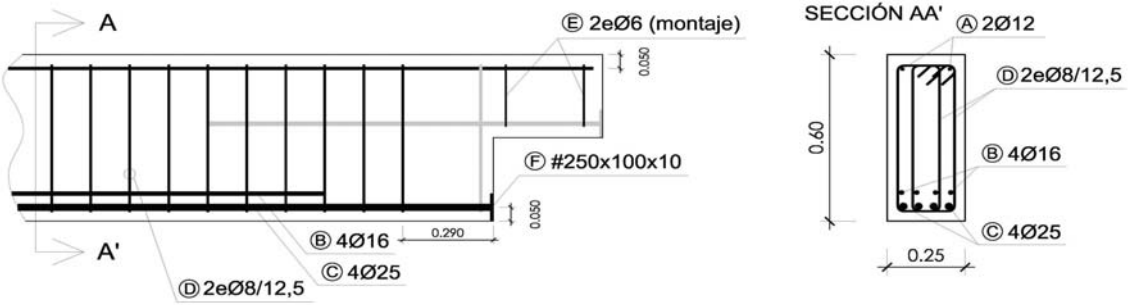
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

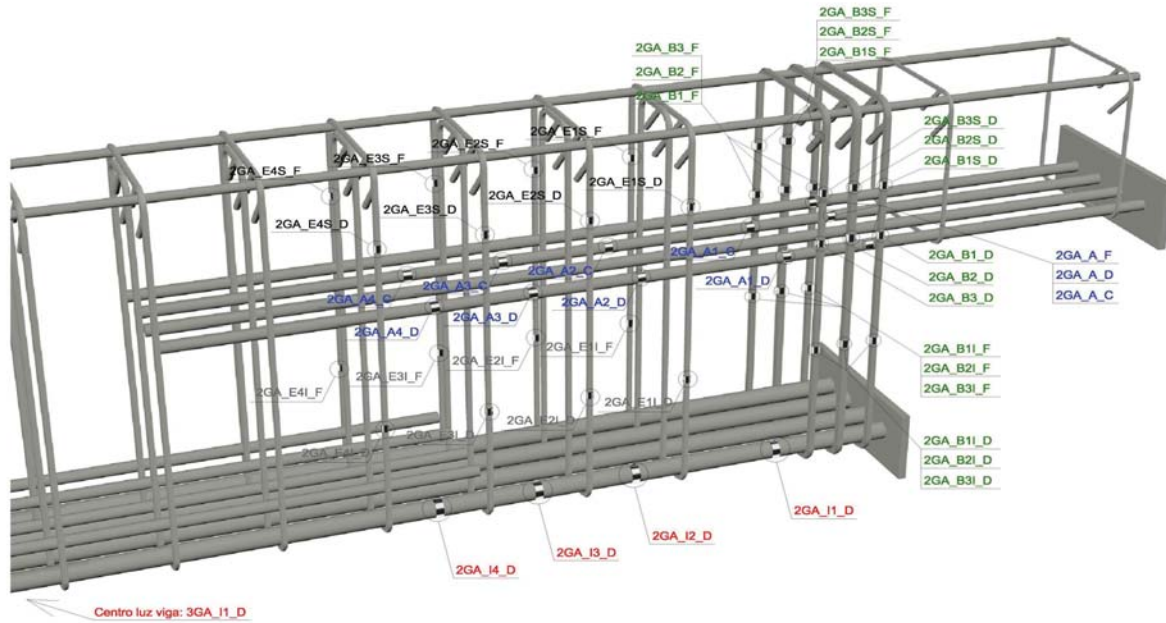
B2.- ARMADO DE LA VIGA



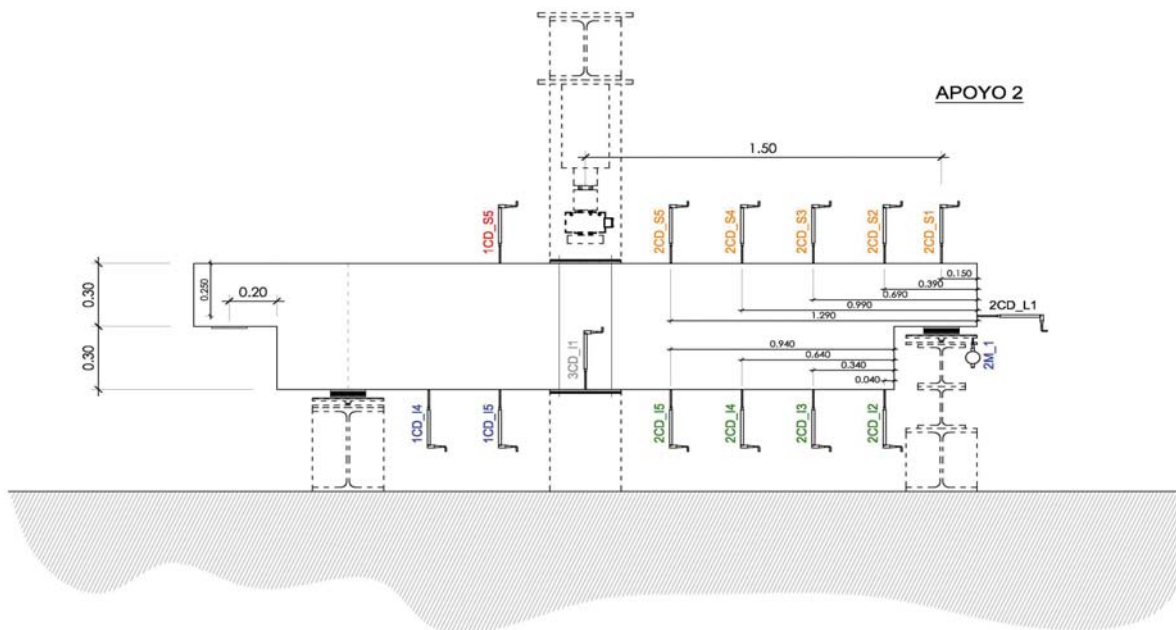
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



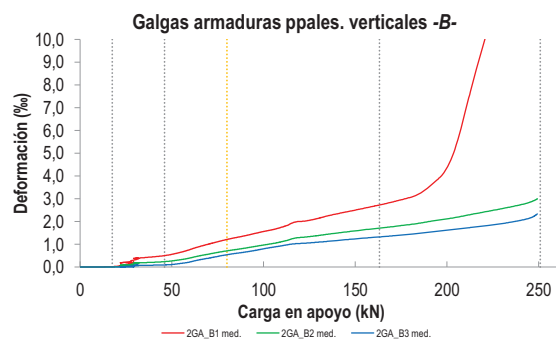
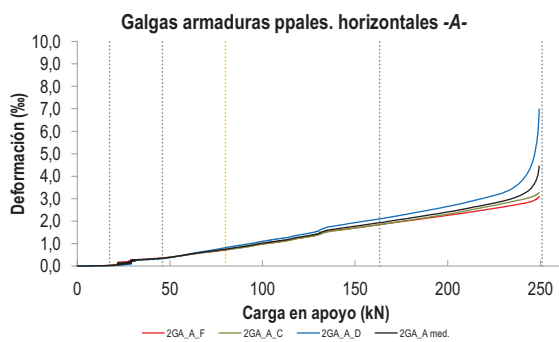
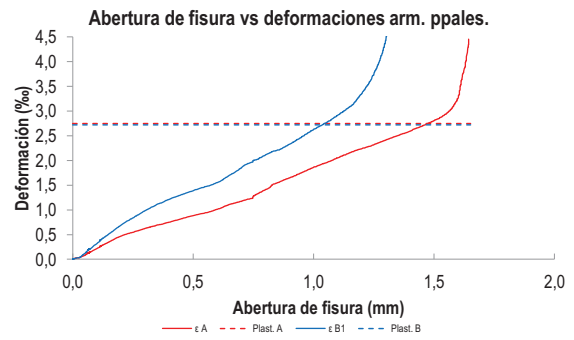
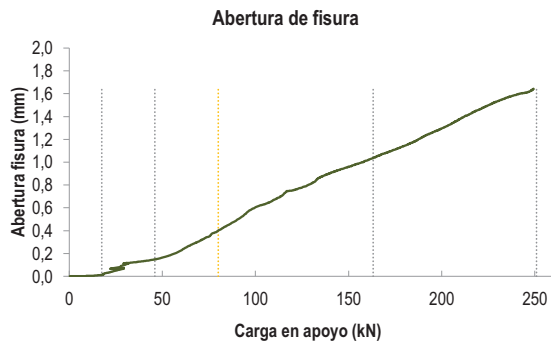
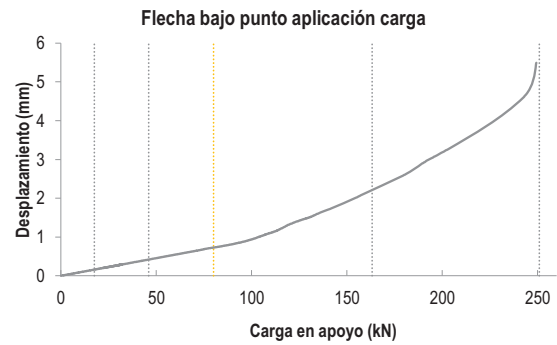
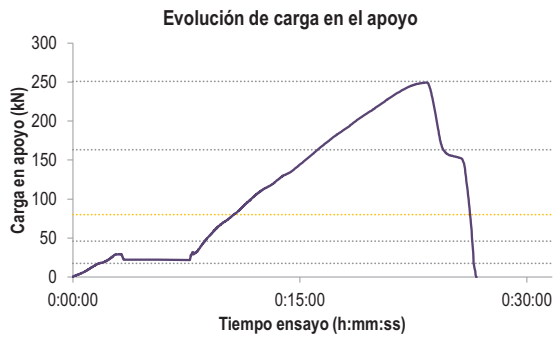
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



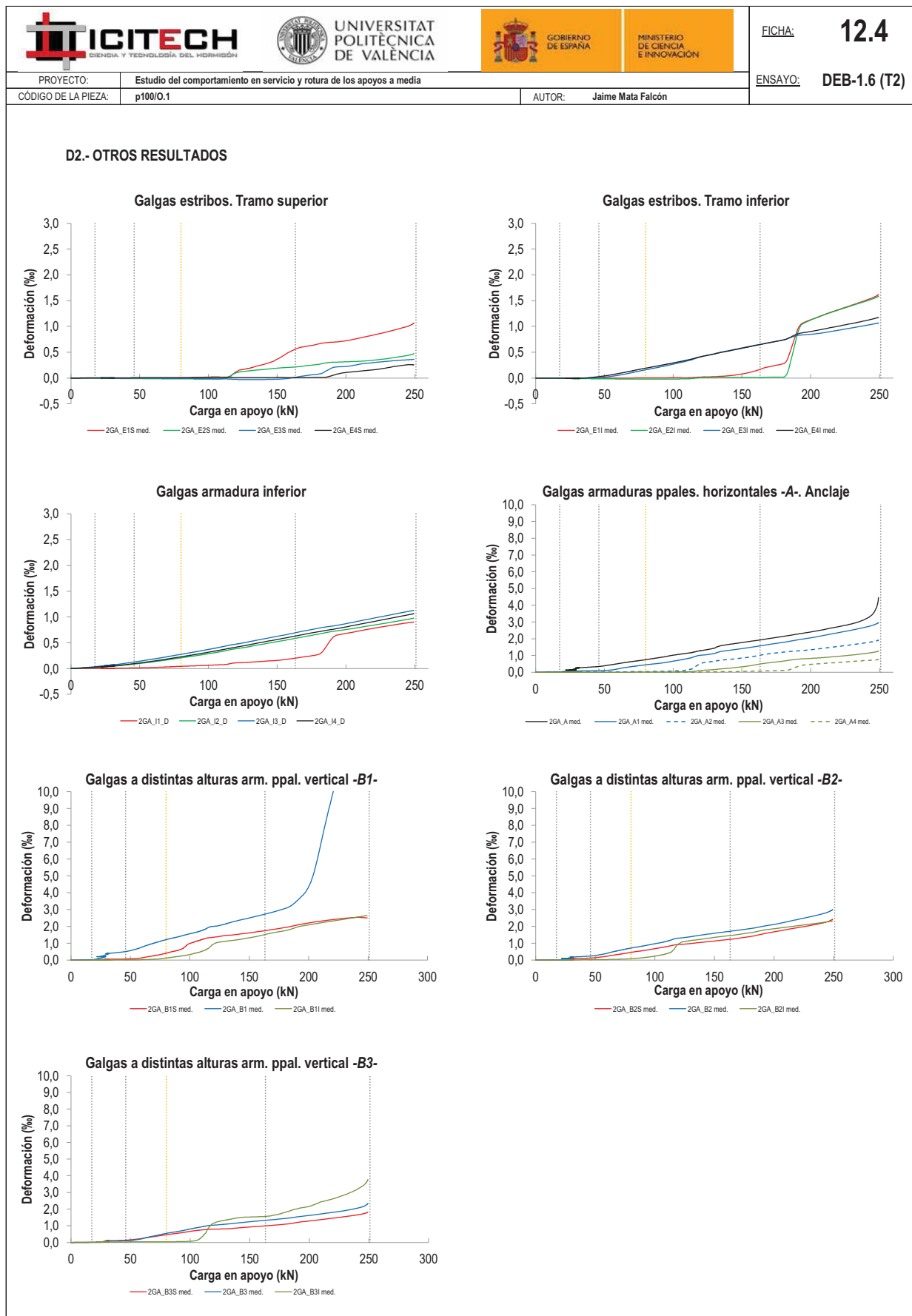
   		FICHA: 12.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 12.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.6 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

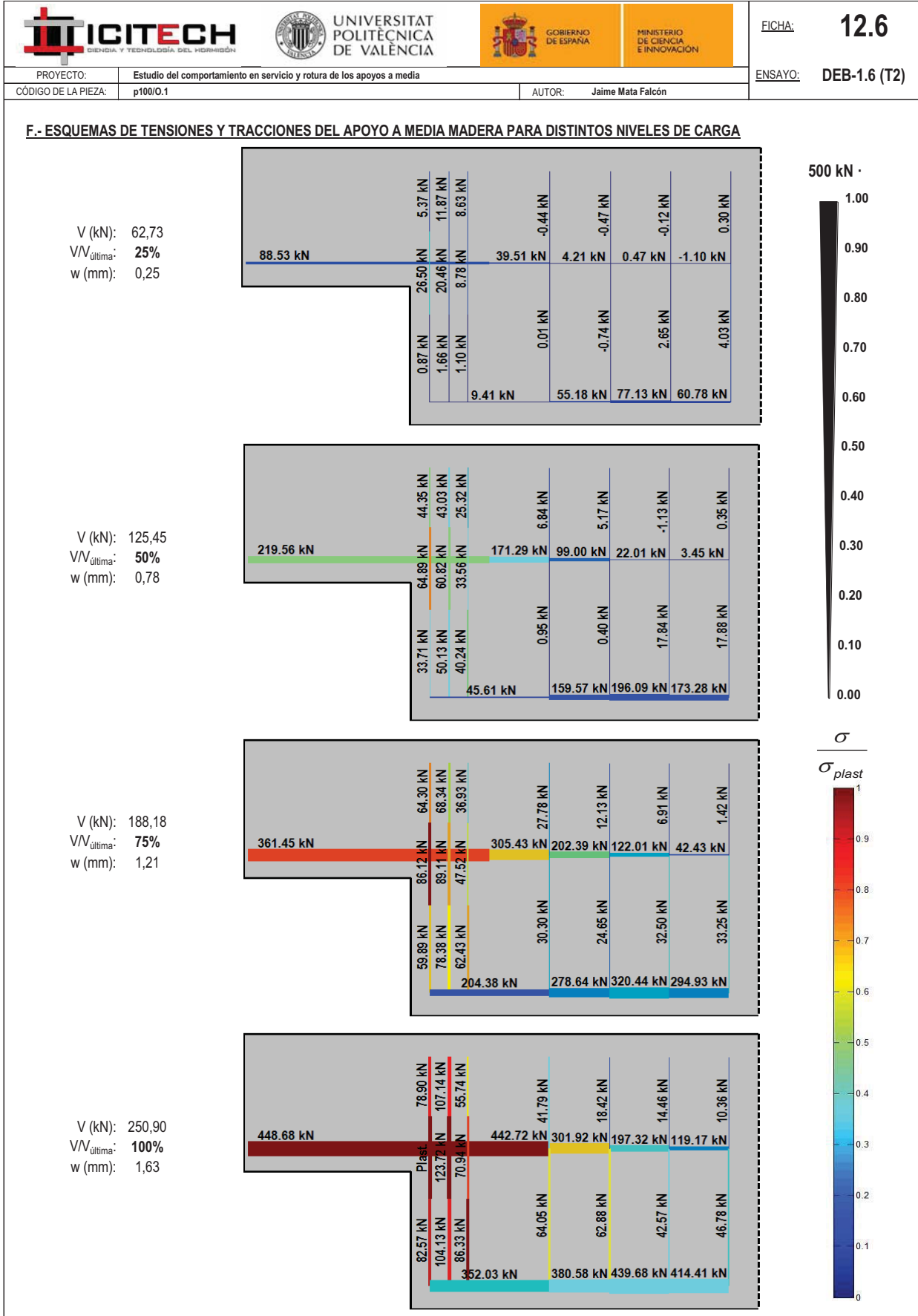
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
12,55	5%	0,00	0,11	0,01	0,01	0,00	0,00	-
25,09	10%	0,06	0,23	0,10	0,15	0,06	0,02	-
37,64	15%	0,13	0,34	0,30	0,43	0,20	0,08	-
50,18	20%	0,16	0,46	0,39	0,56	0,27	0,12	-
62,73	25%	0,25	0,57	0,55	0,84	0,45	0,28	-
75,27	30%	0,36	0,69	0,70	1,12	0,65	0,48	-
87,82	35%	0,47	0,79	0,85	1,34	0,81	0,64	-
100,36	40%	0,61	0,94	1,02	1,57	0,97	0,81	-
112,91	45%	0,70	1,16	1,17	1,83	1,17	0,98	-
125,45	50%	0,78	1,43	1,37	2,07	1,35	1,07	-
138,00	55%	0,89	1,67	1,63	2,30	1,47	1,15	-
150,54	60%	0,96	1,92	1,78	2,51	1,59	1,24	-
163,09	65%	1,04	2,21	1,93	2,73	1,71	1,33	-
175,63	70%	1,12	2,50	2,08	2,97	1,83	1,41	-
188,18	75%	1,21	2,85	2,25	3,40	1,97	1,51	-
200,72	80%	1,30	3,21	2,42	4,56	2,13	1,63	-
213,27	85%	1,41	3,56	2,61	7,82	2,31	1,74	-
225,81	90%	1,50	3,95	2,82	11,10	2,50	1,86	-
238,36	95%	1,58	4,42	3,13	-	2,71	2,03	-
250,90	100%	1,63	5,12	3,93	-	2,94	2,26	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	17,50	7,0%	0,00	0,16	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	46,00	18,3%	0,15	0,42	0,34	0,50	0,24	0,10	-
Abertura de fisura 0,20 mm	56,29	22,4%	0,20	0,51	0,46	0,68	0,34	0,18	-
Abertura de fisura 0,40 mm	80,03	31,9%	0,40	0,73	0,75	1,21	0,71	0,54	-
Abertura de fisura 0,60 mm	101,60	40,5%	0,60	0,97	1,04	1,59	0,99	0,83	-
Abertura de fisura 0,80 mm	126,15	50,3%	0,80	1,44	1,38	2,08	1,35	1,07	-
Primera plastificación	163,21	65,0%	1,04	2,21	1,93	2,73	1,71	1,33	-



 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas





 		 		FICHA: 12.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.6 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE ESQUINA PARA AB.FISURA=0,4 mm) DETALLE DE FISURACIÓN DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA





VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al llegar a la armaduras principales se divide en varias.
 - Conforme aumenta la carga se produce fisuración desde el apoyo en dirección de la biela. Estas fisuras buscan la parte superior de los estribos verticales y provocan el levantamiento del recubrimiento superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y después la armadura horizontal y el 2º estribo (B2).
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: El agotamiento viene por la armadura horizontal. Pese a ser un diseño equilibrado entre los tirantes vertical y horizontal no llega a plastificar el 3º de los estribos.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una pérdida progresiva de la carga a partir del punto de pico, sin llegar a estabilizarse en un valor concreto. El descenso de la carga es bastante rápido, sin llegar a ser súbito.

H.13 DEB-1.7 (T1)

				FICHA: 13.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.7 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.2
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 26/11/2010
 Edad (días): 28

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ12	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 4,52	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 56%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

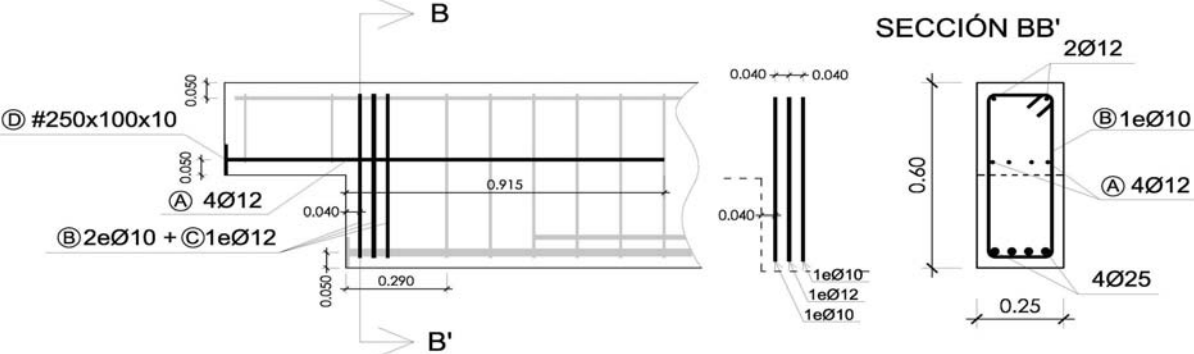
V última (kN): 194,39
 V (w=0,4 mm) (kN): 80,72 42%
 Modo de fallo: SY (V1-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
30,0	2,84	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

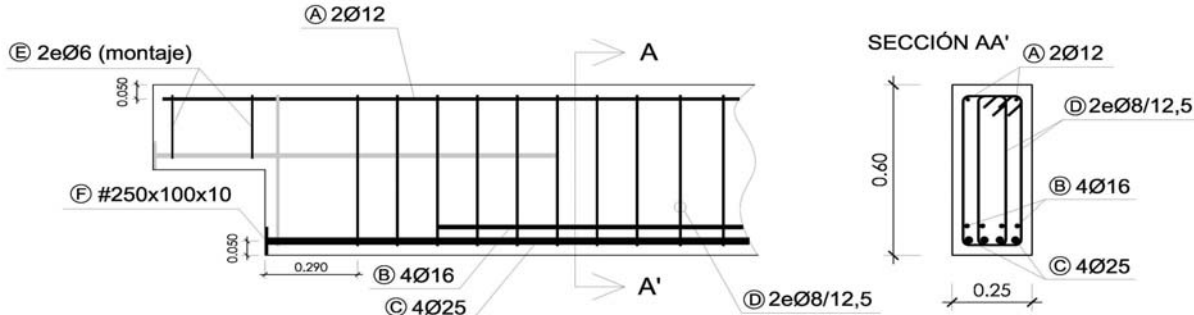
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

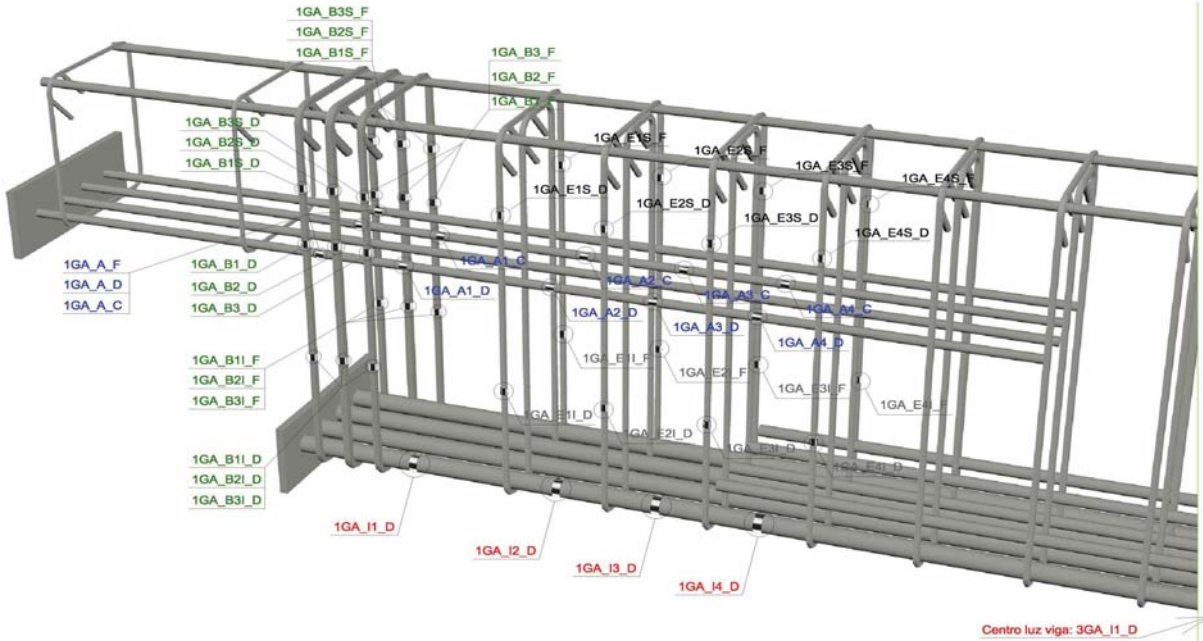
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.2

ENSAYO: **DEB-1.7 (T1)**

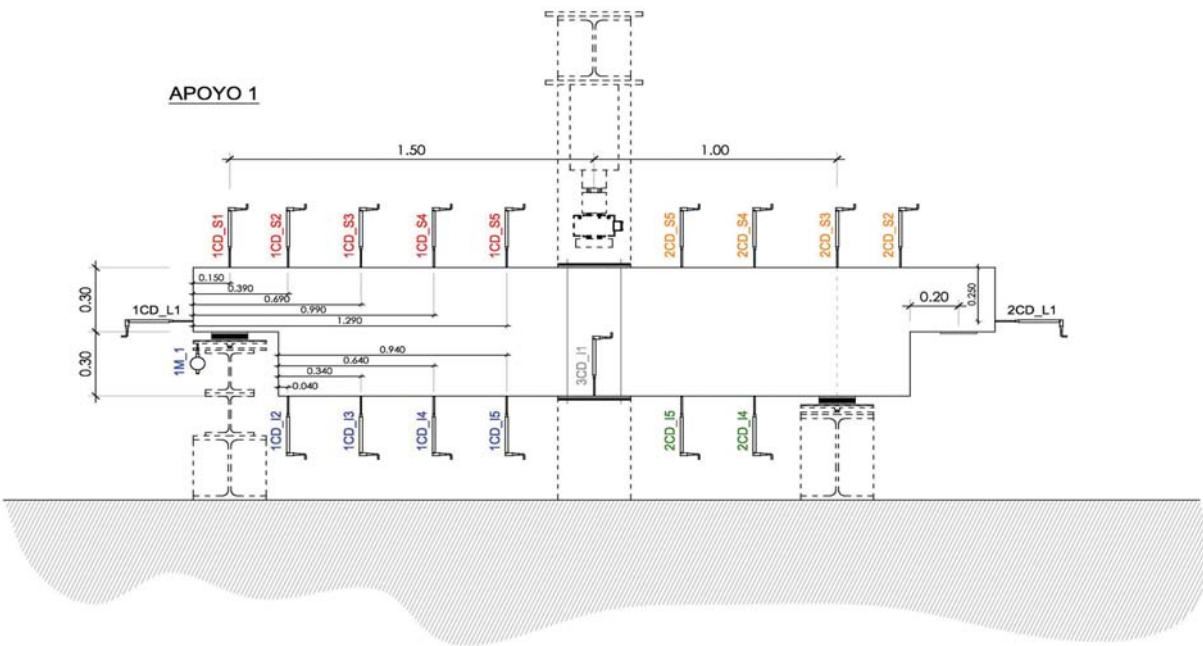
AUTOR: Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



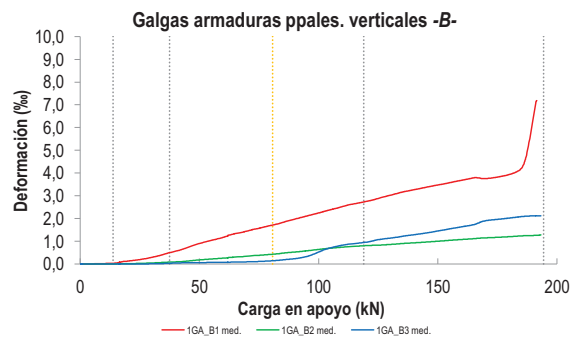
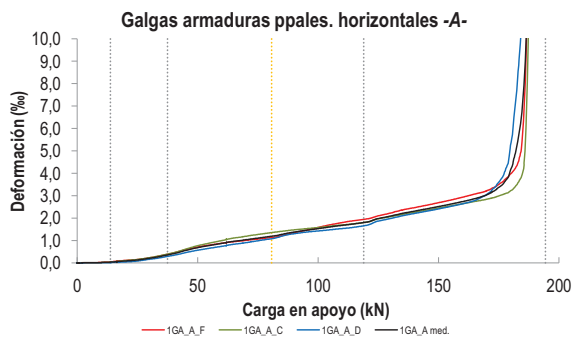
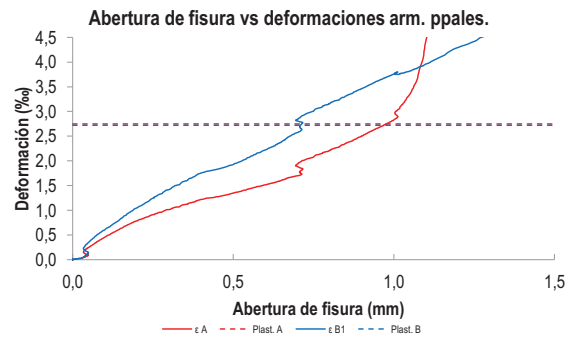
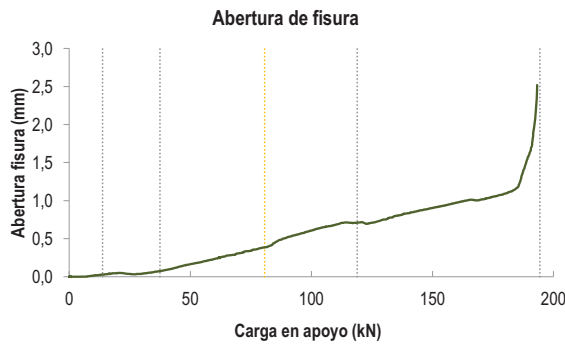
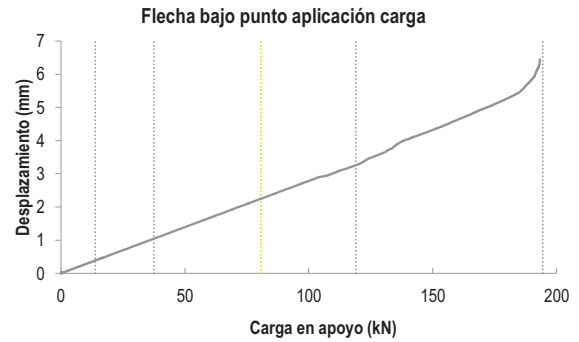
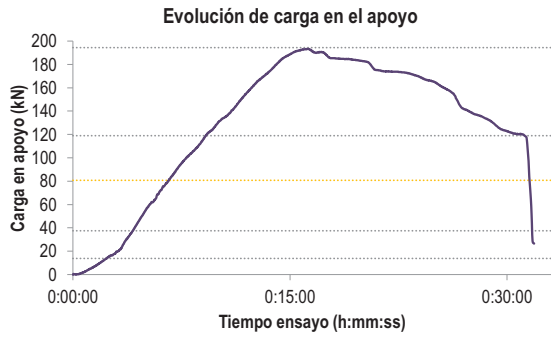
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



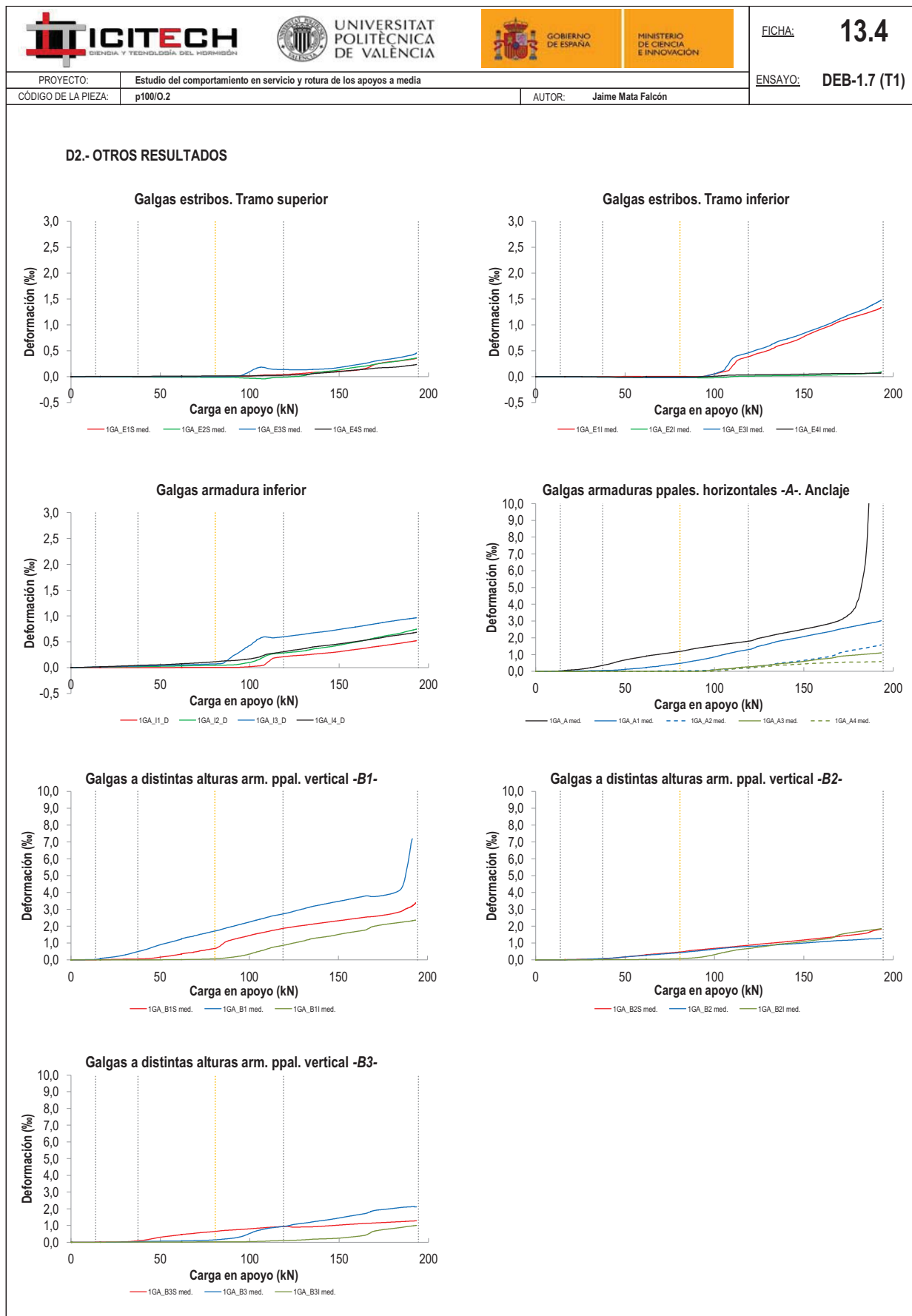
   		FICHA: 13.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.7 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 13.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.7 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,72	5%	0,00	0,27	0,02	0,02	0,00	0,00	-
19,44	10%	0,05	0,55	0,08	0,12	0,02	0,00	-
29,16	15%	0,04	0,81	0,19	0,27	0,04	0,01	-
38,88	20%	0,08	1,08	0,39	0,53	0,09	0,04	-
48,60	25%	0,15	1,35	0,65	0,85	0,17	0,06	-
58,32	30%	0,22	1,63	0,84	1,12	0,25	0,07	-
68,04	35%	0,30	1,91	1,01	1,41	0,33	0,09	-
77,76	40%	0,37	2,17	1,15	1,64	0,41	0,13	-
87,48	45%	0,49	2,43	1,33	1,90	0,50	0,21	-
97,20	50%	0,58	2,71	1,49	2,17	0,61	0,41	-
106,92	55%	0,66	2,94	1,63	2,43	0,71	0,76	-
116,64	60%	0,71	3,20	1,77	2,68	0,79	0,92	-
126,36	65%	0,72	3,52	2,00	2,92	0,84	1,09	-
136,08	70%	0,80	3,89	2,22	3,18	0,90	1,23	-
145,80	75%	0,88	4,20	2,43	3,39	0,97	1,37	-
155,52	80%	0,94	4,49	2,64	3,59	1,05	1,55	-
165,24	85%	1,00	4,80	2,88	3,77	1,12	1,76	-
174,95	90%	1,05	5,09	3,36	3,82	1,17	1,96	-
184,67	95%	1,24	5,50	7,65	4,42	1,24	2,08	-
194,39	100%	2,08	6,17	-	7,04	1,27	2,12	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

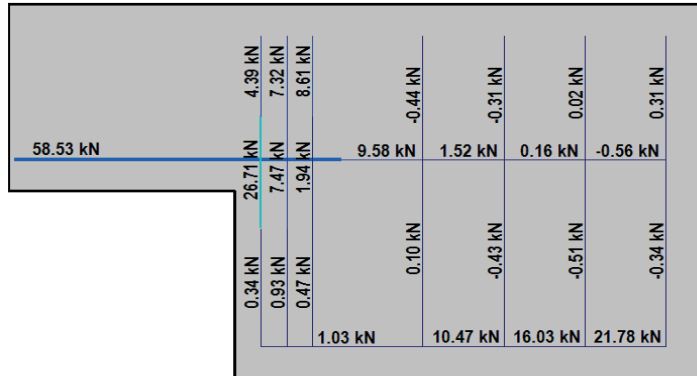
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,80	7,1%	0,03	0,38	0,03	0,03	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	37,50	19,3%	0,07	1,05	0,36	0,50	0,08	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	55,22	28,4%	0,20	1,54	0,78	1,04	0,22	0,07	-
Abertura de fisura 0,40 mm	80,72	41,5%	0,40	2,25	1,19	1,71	0,43	0,14	-
Abertura de fisura 0,60 mm	99,80	51,3%	0,60	2,78	1,53	2,24	0,64	0,52	-
Abertura de fisura 0,80 mm	136,13	70,0%	0,80	3,89	2,22	3,18	0,90	1,23	-
Primera plastificación	118,95	61,2%	0,71	3,26	1,80	2,73	0,80	0,95	-

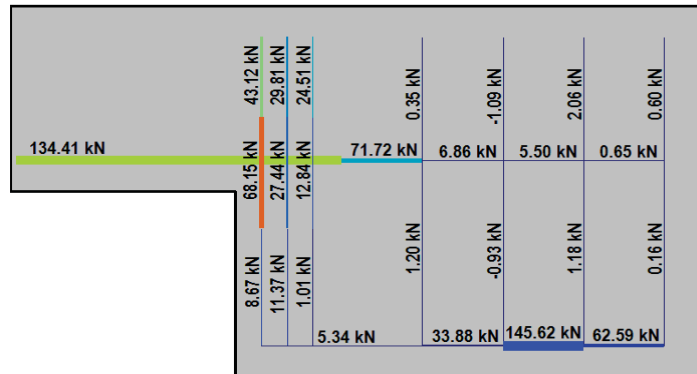
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

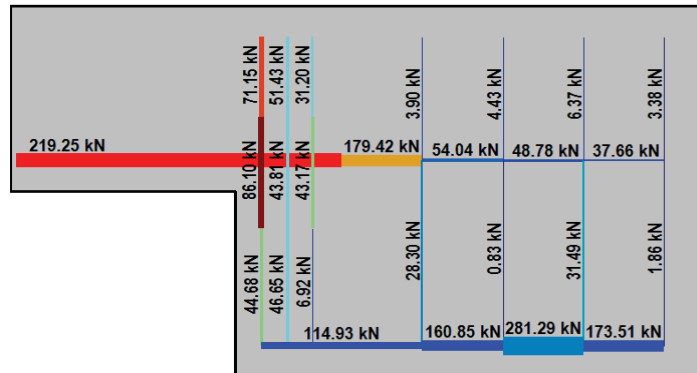
V (kN): 48,60
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,15



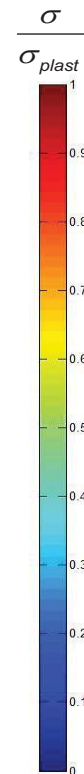
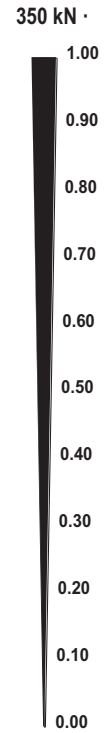
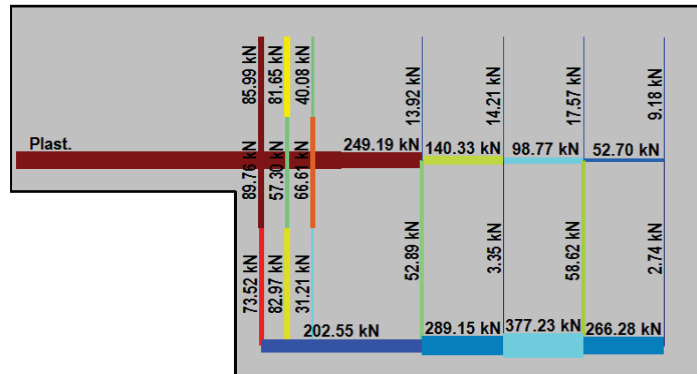
V (kN): 97,20
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,58



V (kN): 145,80
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,88



V (kN): 194,39
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,08



 		 		FICHA: 13.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.7 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA







DETALLE DE FISURACIÓN BAJO EL APOYO



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°.
 - La debilidad de la armadura horizontal hace que, cerca de la rotura se genere una fisura que parte muy cerca de la anterior, pero que es más vertical y va a buscar la parte superior de los estribos que componen el tirante vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y a continuación la armadura horizontal. Observando el tirante vertical (formado por tres estribos) como un conjunto, no se produciría su plastificación.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por agotamiento de la armadura horizontal (A); una vez plastifica el incremento de carga de la pieza es debido a la rama de endurecimiento de dicha armadura, hasta que alcanza su tensión máxima.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una pérdida progresiva de la carga a partir del punto de pico. La caída de la carga es análoga a la que se produciría en un ensayo de tracción del acero tras la carga máxima. Durante este proceso de va desprendiendo el recubrimiento superior de hormigón, debido a la elevada deformabilidad demandada, pero este desprendimiento no es súbito.

H.14 DEB-1.7 (T2)

				FICHA: 14.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.7 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-	
Armado: 4φ12	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -	
Área (cm ²): 4,52	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00	
α: 56%	β: 100%	γ: 0%	
Rec. mecán. (mm): 80			
Variante 1: - Variante 2: -			
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
30,0	2,84	0,00%	- -

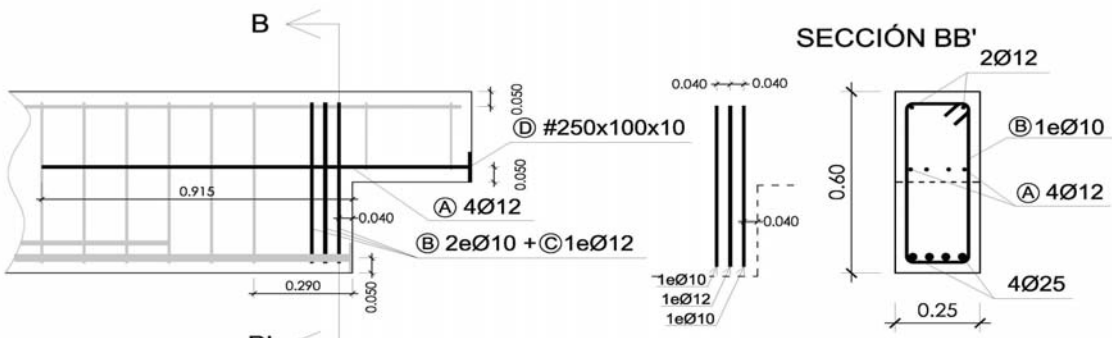
Codificación: p100/O.2
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 26/11/2010
 Edad (días): 28

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 188,80
 V (w=0,4 mm) (kN): 69,77 37%
 Modo de fallo: SY (V1-H)

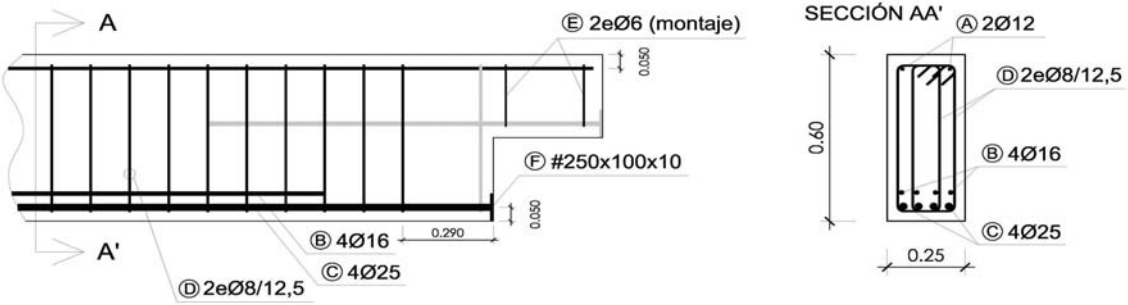
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

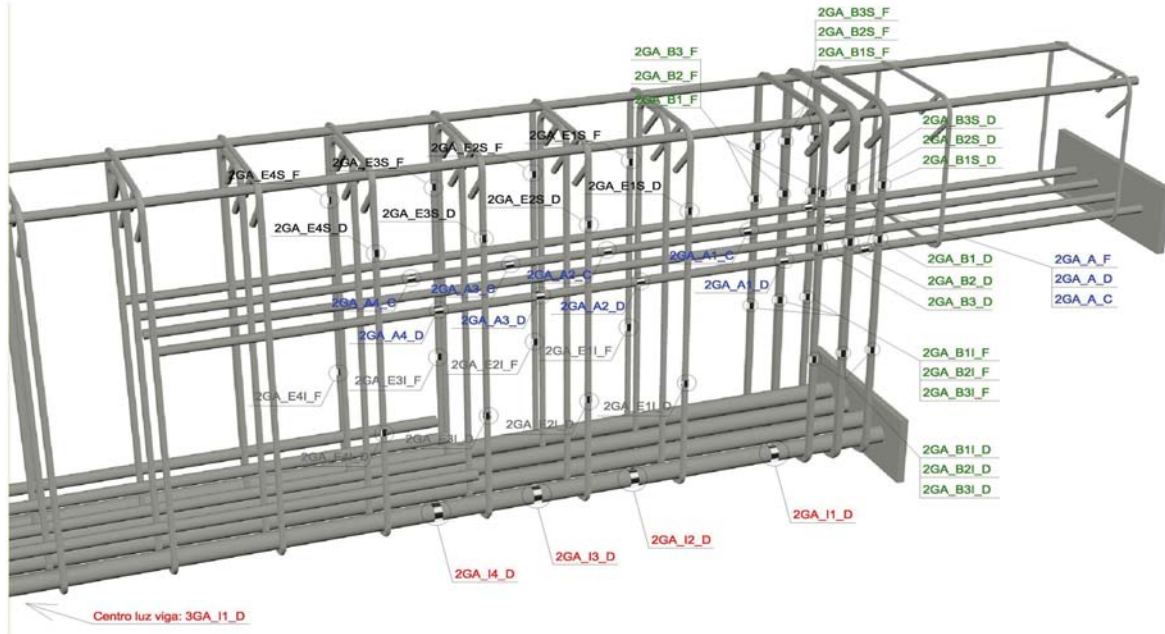


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

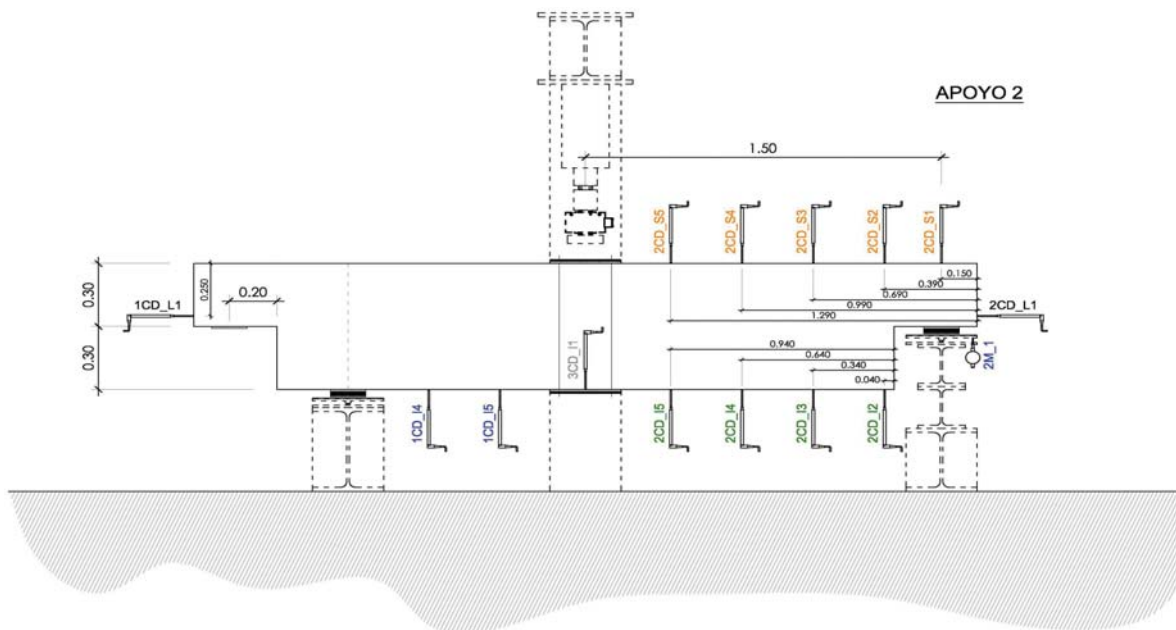
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.2
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



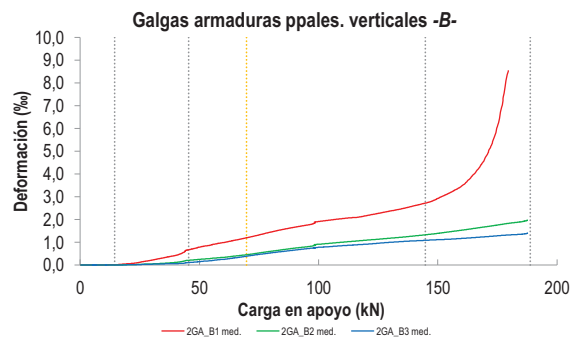
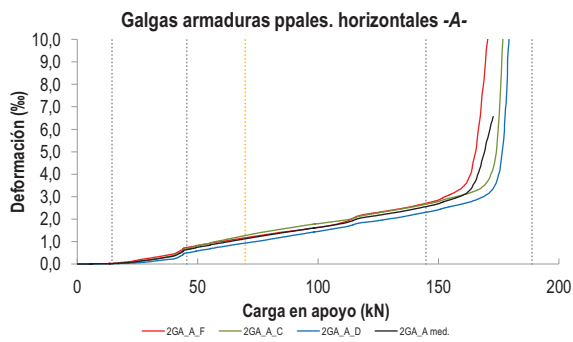
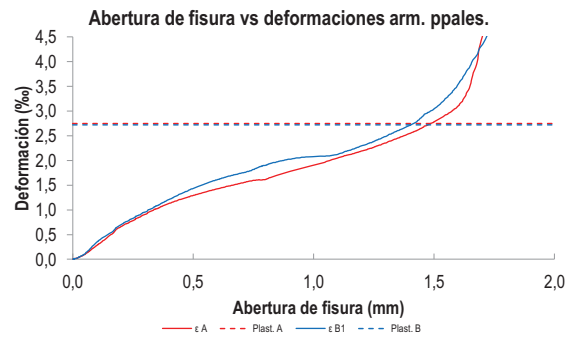
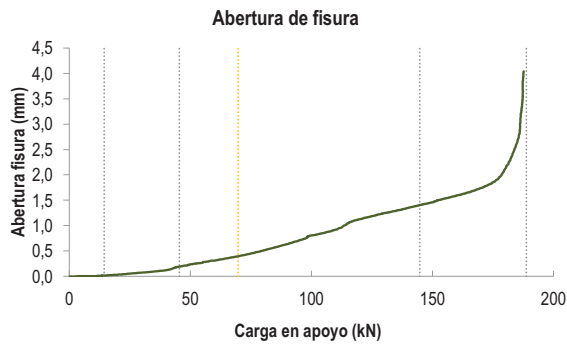
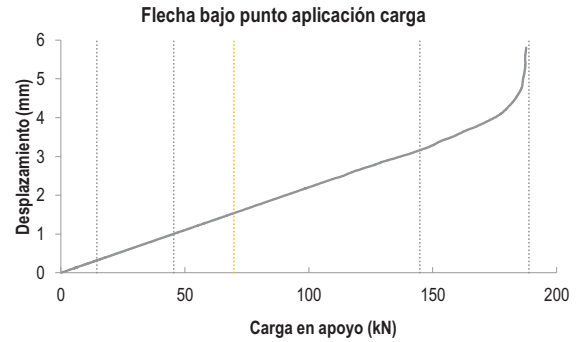
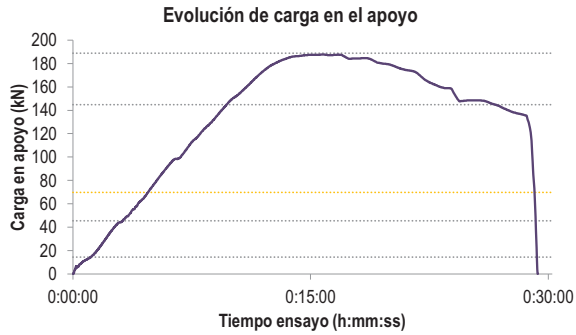
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



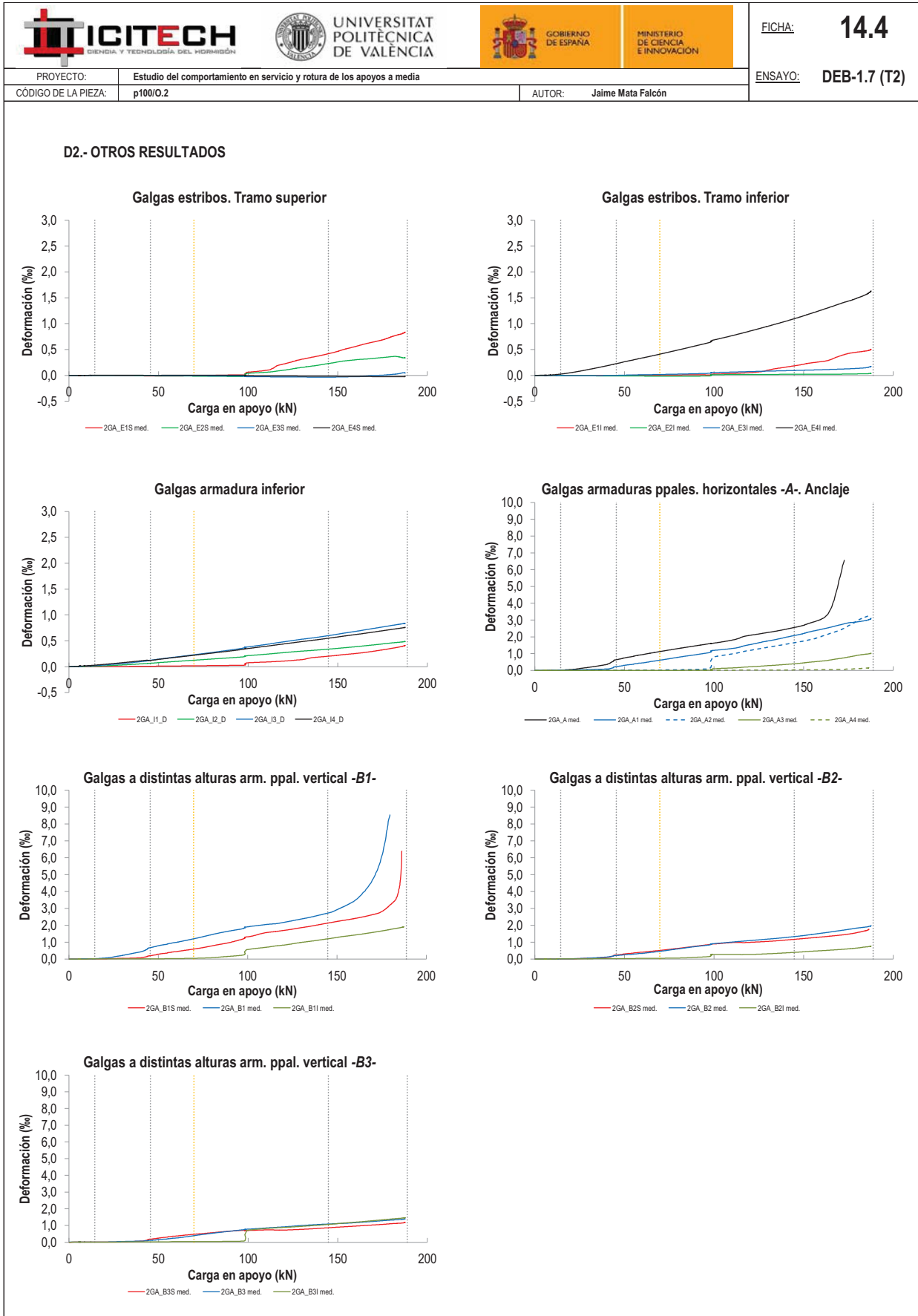
   		FICHA: 14.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.7 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 14.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.7 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,44	5%	0,00	0,21	0,01	0,01	0,00	0,00	-
18,88	10%	0,03	0,42	0,05	0,05	0,01	0,01	-
28,32	15%	0,07	0,62	0,16	0,19	0,05	0,03	-
37,76	20%	0,11	0,83	0,31	0,38	0,10	0,06	-
47,20	25%	0,20	1,04	0,67	0,71	0,22	0,12	-
56,64	30%	0,29	1,25	0,89	0,93	0,31	0,22	-
66,08	35%	0,36	1,46	1,06	1,12	0,41	0,34	-
75,52	40%	0,46	1,67	1,23	1,34	0,54	0,48	-
84,96	45%	0,57	1,87	1,39	1,56	0,68	0,60	-
94,40	50%	0,70	2,08	1,54	1,74	0,80	0,71	-
103,84	55%	0,84	2,29	1,69	1,96	0,95	0,81	-
113,28	60%	1,00	2,49	1,90	2,08	1,04	0,88	-
122,72	65%	1,16	2,71	2,14	2,23	1,12	0,94	-
132,16	70%	1,27	2,91	2,30	2,42	1,20	1,02	-
141,60	75%	1,37	3,09	2,49	2,64	1,30	1,07	-
151,04	80%	1,48	3,32	2,73	2,97	1,41	1,12	-
160,48	85%	1,60	3,58	3,10	3,52	1,54	1,17	-
169,92	90%	1,74	3,85	5,29	4,77	1,68	1,25	-
179,36	95%	2,11	4,23	-	7,54	1,83	1,32	-
188,80	100%	3,38	5,22	-	-	1,94	1,38	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	14,46	7,7%	0,02	0,32	0,02	0,02	0,01	0,01	-
Punto de cambio de rigidez	45,50	24,1%	0,19	1,00	0,64	0,67	0,21	0,11	-
Abertura de fisura 0,20 mm	46,38	24,6%	0,20	1,03	0,66	0,70	0,22	0,12	-
Abertura de fisura 0,40 mm	69,77	37,0%	0,40	1,54	1,12	1,20	0,46	0,39	-
Abertura de fisura 0,60 mm	87,15	46,2%	0,60	1,92	1,42	1,61	0,71	0,62	-
Abertura de fisura 0,80 mm	100,50	53,2%	0,80	2,20	1,62	1,90	0,91	0,78	-
Primera plastificación	144,79	76,7%	1,40	3,16	2,56	2,72	1,33	1,09	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **14.6**

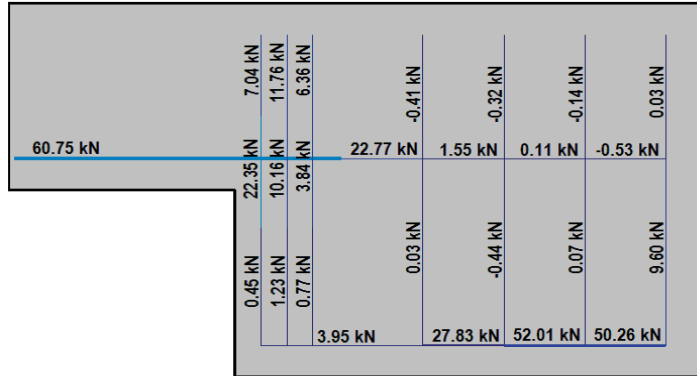
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.2

ENSAYO: **DEB-1.7 (T2)**

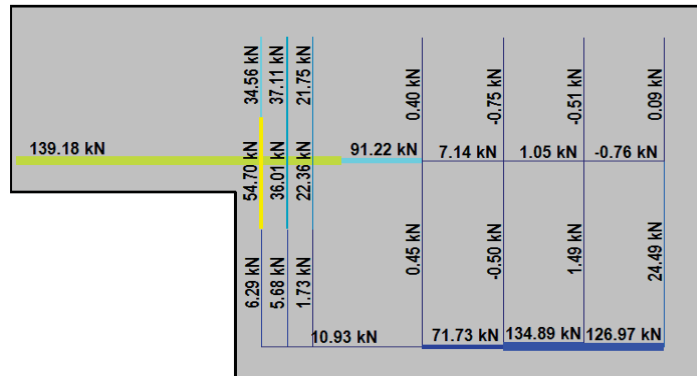
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

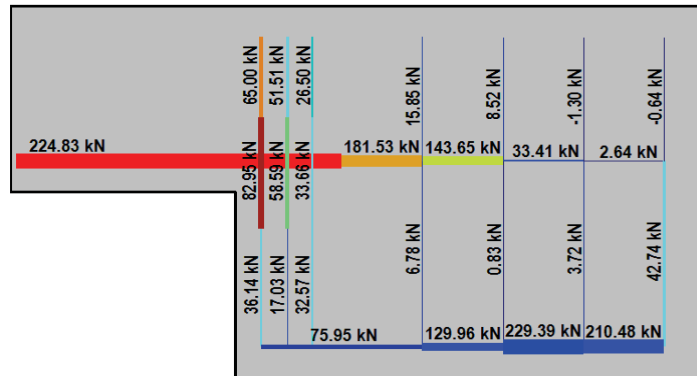
V (kN): 47,20
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,20



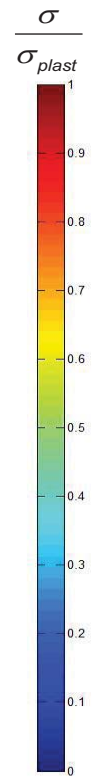
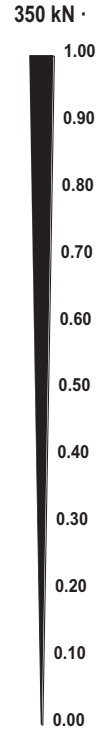
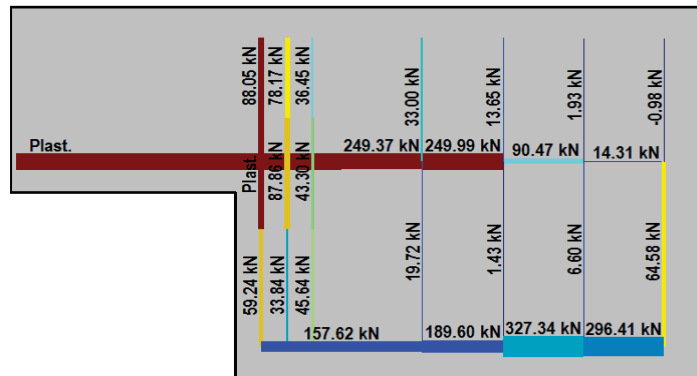
V (kN): 94,40
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,70



V (kN): 141,60
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,37



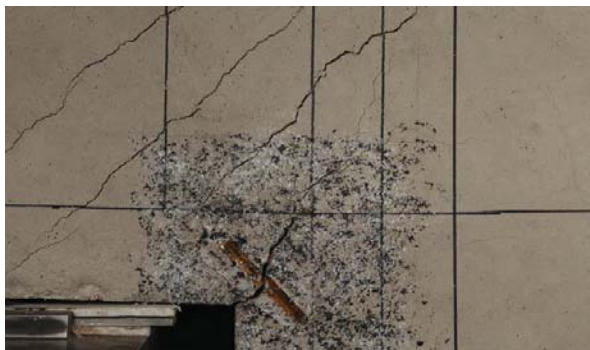
V (kN): 188,80
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 3,38



   		FICHA: 14.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.7 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO AL 92% DE LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura de la esquina forma una inclinación con la horizontal de unos 60°. Es bastante vertical debido a la debilidad de la armadura horizontal
 - Se genera fisuración paralela en la biela que parte del apoyo, que busca la parte superior de los estribos del armado vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el 1er estribo vertical (B1) y a continuación la armadura horizontal. Observando el tirante vertical (formado por tres estribos) como un conjunto, no se produciría su plastificación.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por agotamiento de la armadura horizontal (A); una vez plastifica el incremento de carga de la pieza es debido a la rama de endurecimiento de dicha armadura, hasta que alcanza su tensión máxima.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una pérdida progresiva de la carga a partir del punto de pico. La caída de la carga es análoga a la que se produciría en un ensayo de tracción del acero tras la carga máxima. Durante este proceso se va desprendiendo el recubrimiento superior de hormigón, debido a la elevada deformabilidad demandada, pero este desprendimiento no es súbito.

H.15 DEB-1.8 (T1)

				FICHA: 15.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.8 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 01/12/2010
 Edad (días): 33

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 5,65	Área (cm ²): 3,71	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

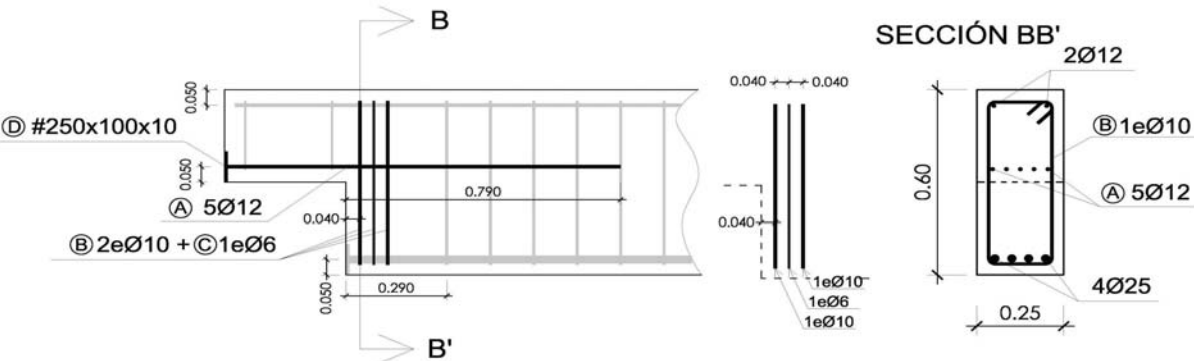
V última (kN): 195,25
 V (w=0,4 mm) (kN): 74,08 38%
 Modo de fallo: SY (V1-H-V2-V3)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
32,2	2,77	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

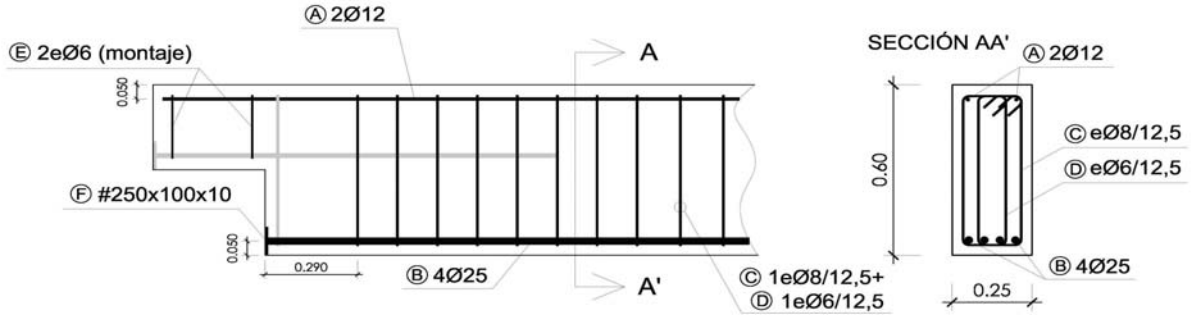
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

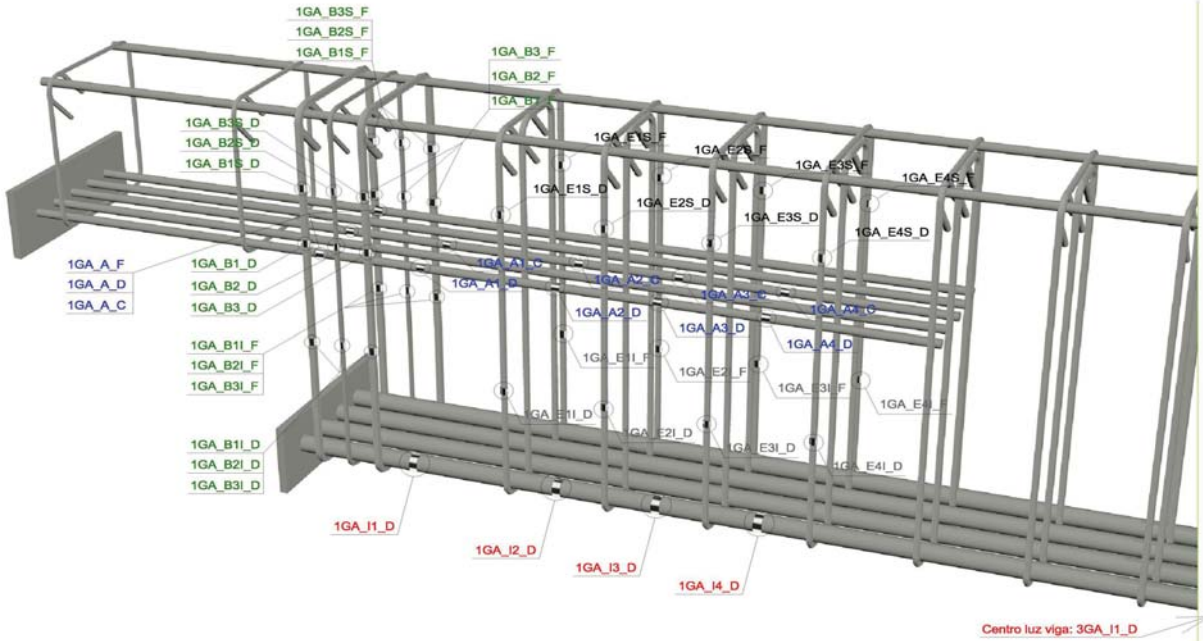
B2.- ARMADO DE LA VIGA



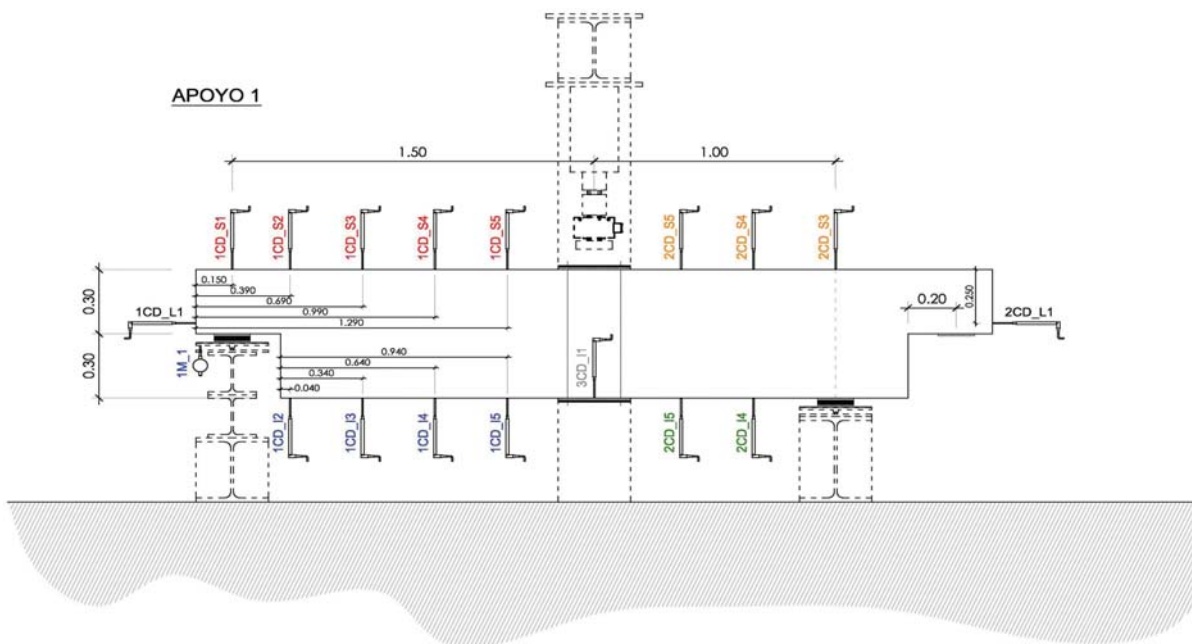
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



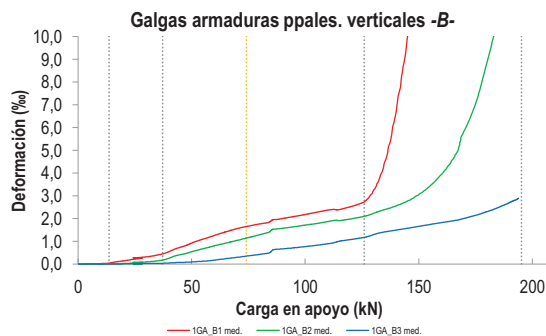
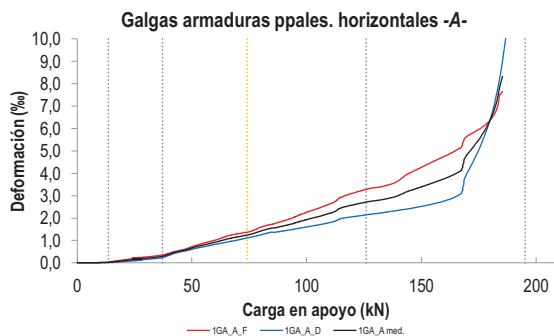
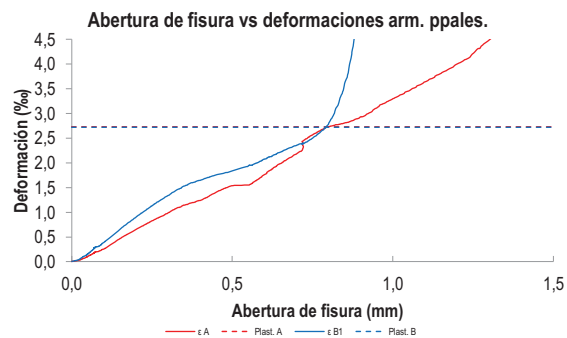
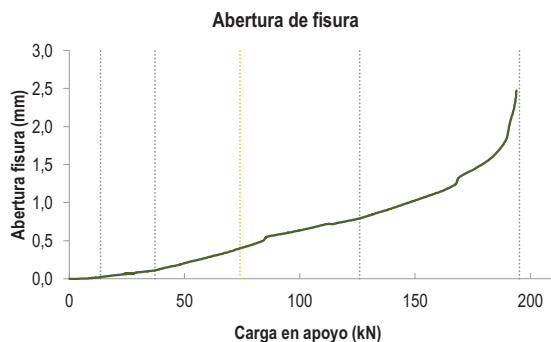
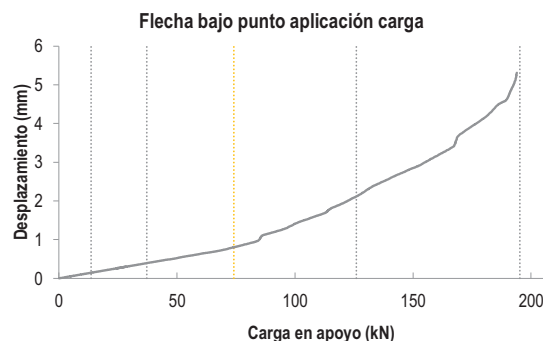
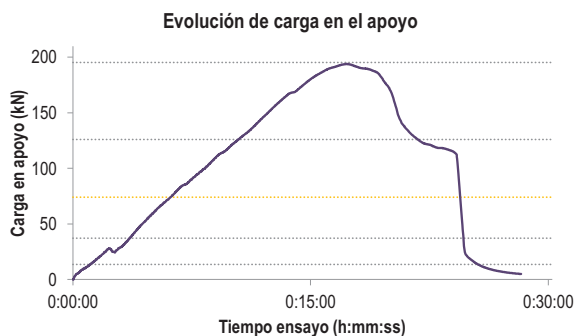
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 15.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.8 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

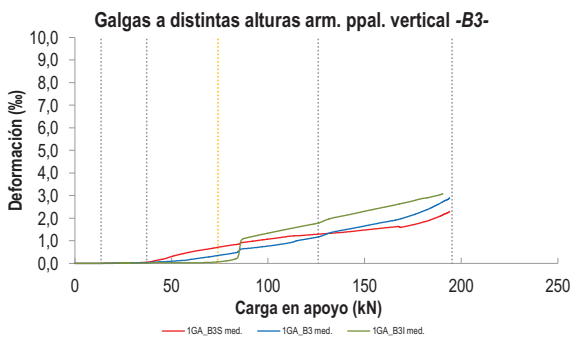
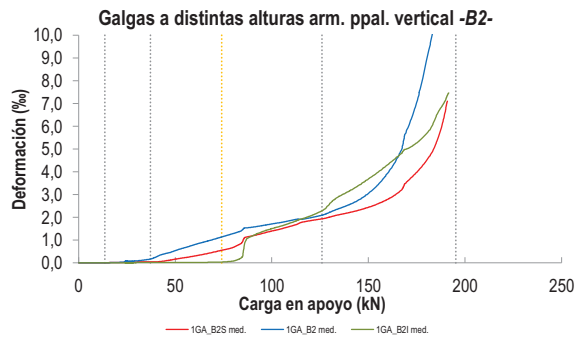
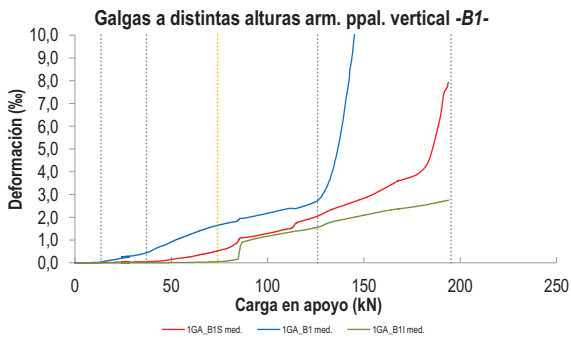
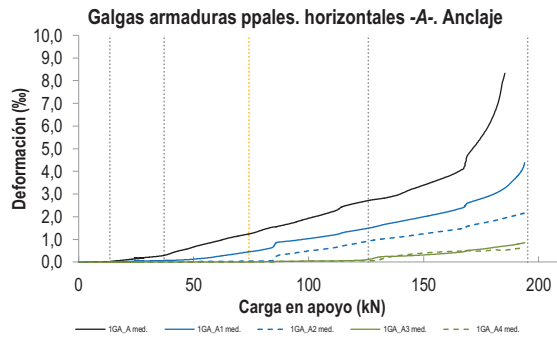
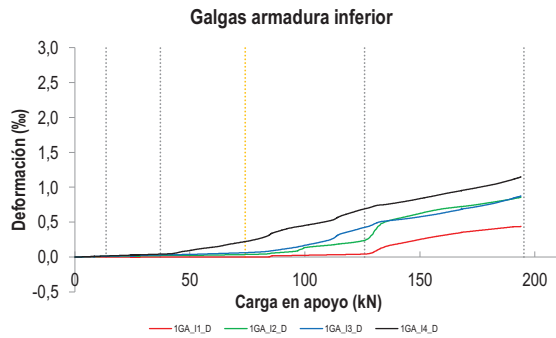
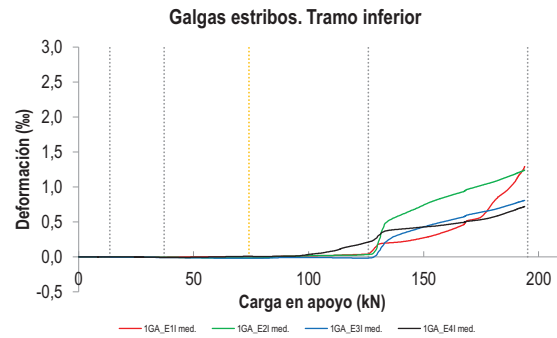
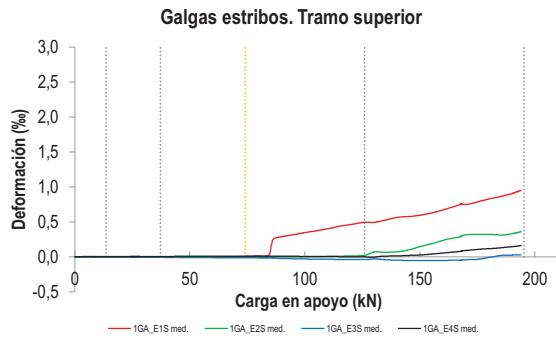
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

D2.- OTROS RESULTADOS



   		FICHA: 15.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.8 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

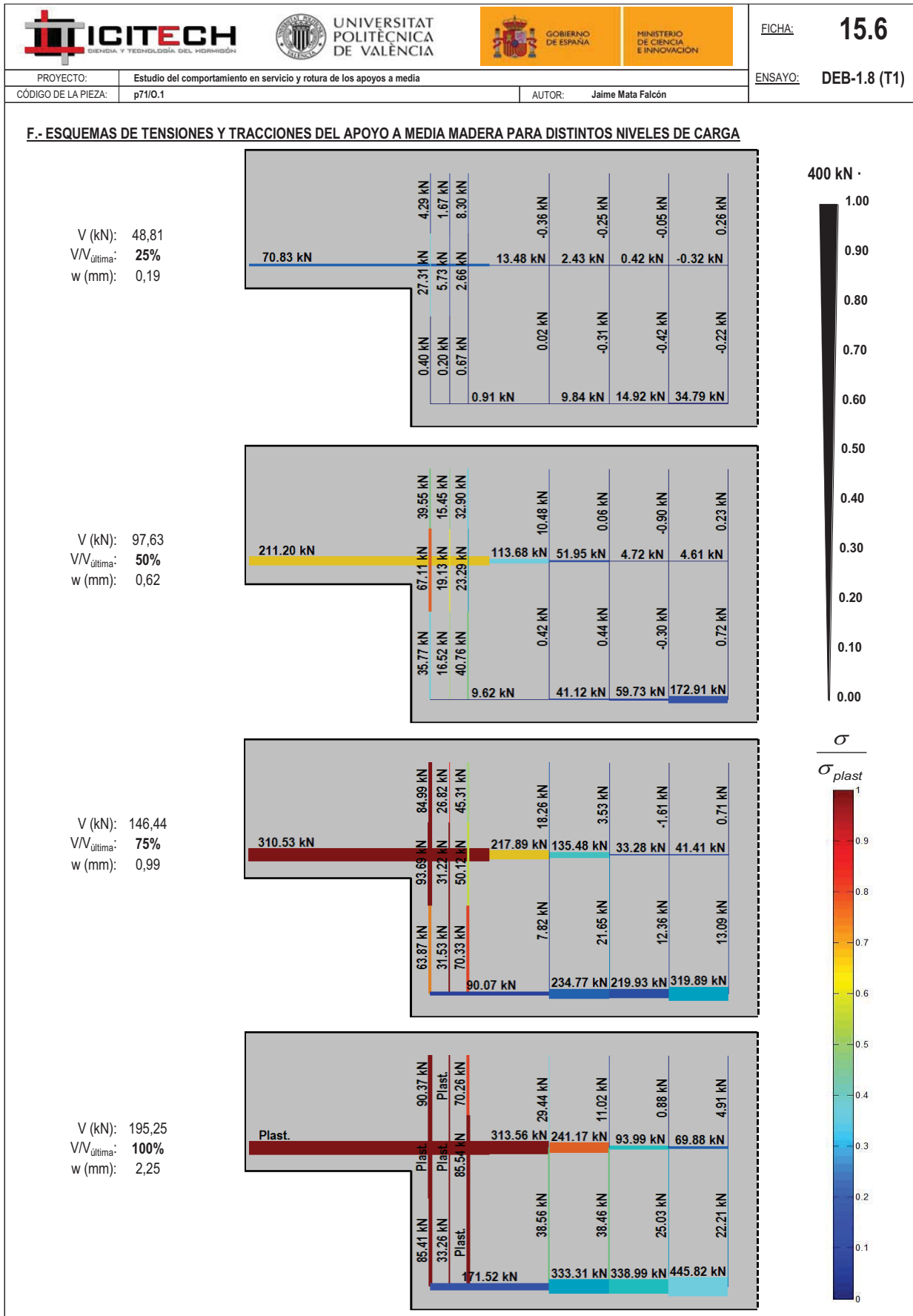
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,76	5%	0,00	0,10	0,01	0,02	0,00	0,00	-
19,53	10%	0,05	0,21	0,09	0,13	0,02	0,00	-
29,29	15%	0,08	0,31	0,20	0,31	0,09	0,02	-
39,05	20%	0,12	0,41	0,35	0,51	0,22	0,04	-
48,81	25%	0,19	0,51	0,63	0,87	0,50	0,08	-
58,58	30%	0,27	0,62	0,88	1,21	0,76	0,15	-
68,34	35%	0,35	0,72	1,13	1,52	1,00	0,27	-
78,10	40%	0,44	0,86	1,36	1,73	1,24	0,40	-
87,86	45%	0,57	1,14	1,60	1,97	1,55	0,65	-
97,63	50%	0,62	1,34	1,87	2,14	1,68	0,74	-
107,39	55%	0,69	1,58	2,13	2,32	1,82	0,86	-
117,15	60%	0,73	1,85	2,51	2,44	1,94	1,03	-
126,91	65%	0,80	2,15	2,73	2,83	2,12	1,19	-
136,68	70%	0,89	2,48	2,90	5,07	2,44	1,44	-
146,44	75%	0,99	2,76	3,27	10,97	2,85	1,60	-
156,20	80%	1,10	3,04	3,62	15,91	3,56	1,76	-
165,96	85%	1,24	3,44	4,19	-	4,99	1,93	-
175,73	90%	1,44	3,96	5,62	-	7,34	2,17	-
185,49	95%	1,67	4,44	7,57	-	10,48	2,51	-
195,25	100%	2,25	5,06	-	-	-	2,83	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,60	7,0%	0,02	0,14	0,03	0,04	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	37,20	19,1%	0,11	0,39	0,29	0,44	0,17	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	49,61	25,4%	0,20	0,52	0,66	0,91	0,53	0,09	-
Abertura de fisura 0,40 mm	74,08	37,9%	0,40	0,80	1,24	1,65	1,14	0,35	-
Abertura de fisura 0,60 mm	94,05	48,2%	0,60	1,25	1,76	2,07	1,62	0,70	-
Abertura de fisura 0,80 mm	124,49	63,8%	0,80	2,07	2,68	2,67	2,06	1,14	-
Primera plastificación	125,98	64,5%	0,79	2,12	2,71	2,76	2,10	1,17	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 15.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media						ENSAYO: DEB-1.8 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón					

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







DETALLE DEL APOYO TRAS RETIRAR ELEMENTOS DESPRENDIDOS



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al encontrarse con el primer estribo del tirante vertical para al encontrarse con el tirante vertical se divide en varias fisuras de abertura más reducida.
 - Antes de alcanzarse la carga máxima comienza a generarse una fisuración paralela en la biela que parte del apoyo. Dichas fisuras buscan la parte superior de los estribos del tirante vertical, donde se horizontalizan.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: De manera prácticamente simultánea el tirante horizontal y el primer estribo vertical (B1); posteriormente plastifican los otros dos estribos (B2-B3)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisuración diagonal en la bielas, que se concentra en la cabeza de los estribos que forman el tirante vertical y produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima, se va perdiendo hasta un 45% de la carga, sin haber ningún tramo apreciable de estabilización. En ese instante se finaliza el ensayo.

H.16 DEB-1.8 (T2)

				FICHA: 16.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.8 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 01/12/2010
 Edad (días): 33

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 5,65	Área (cm ²): 3,71	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

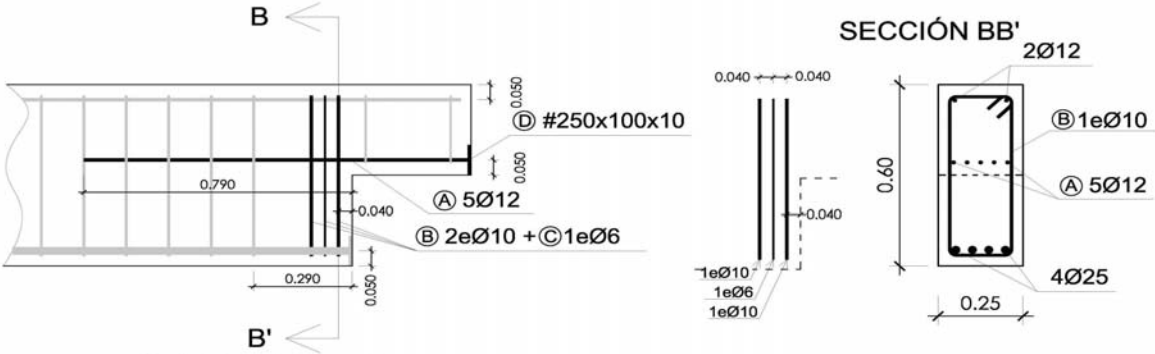
V última (kN): 199,06
 V (w=0,4 mm) (kN): 80,16 40%
 Modo de fallo: SY (H-V1-V2-V3)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
32,2	2,77	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

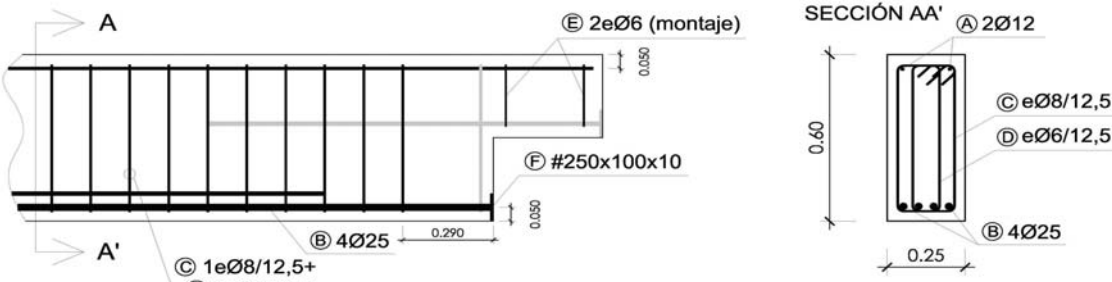
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

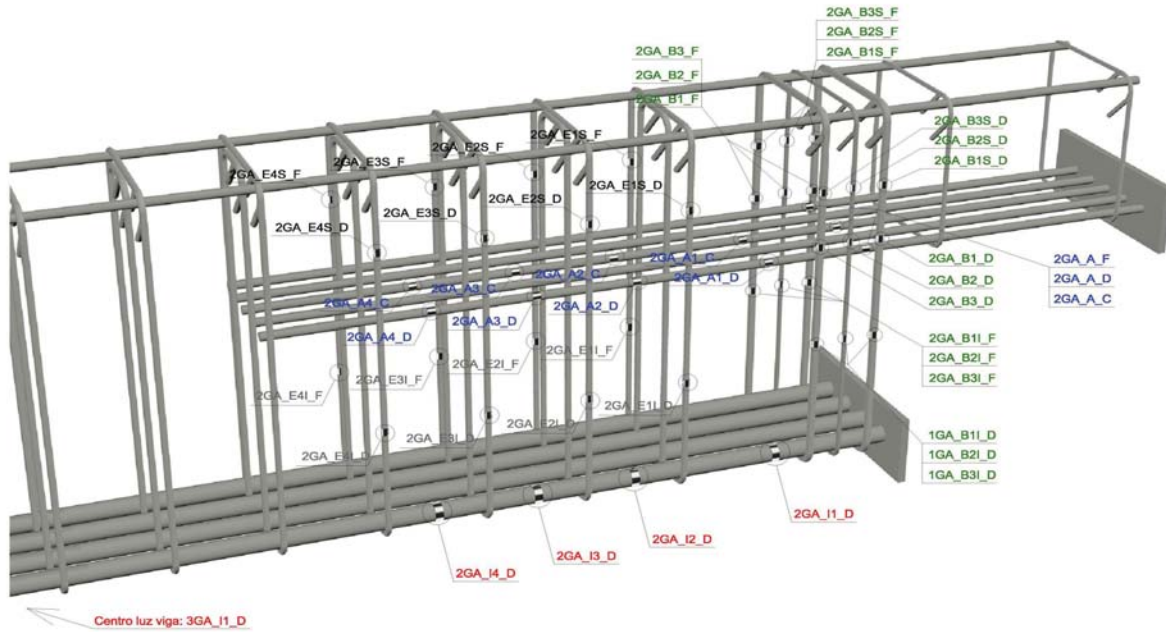


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

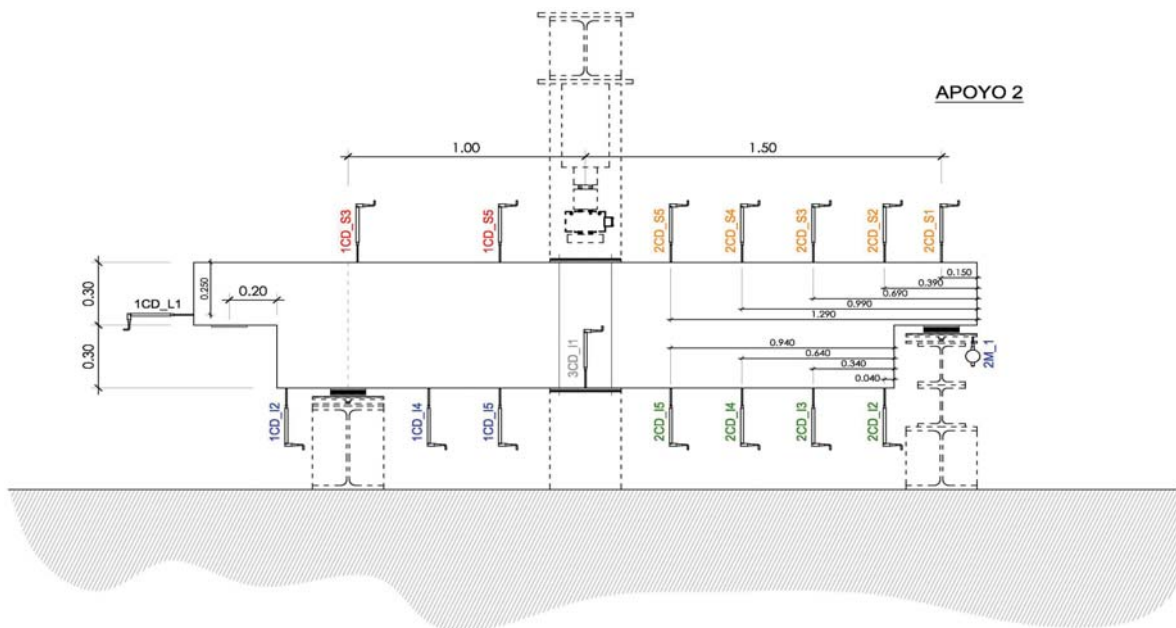
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



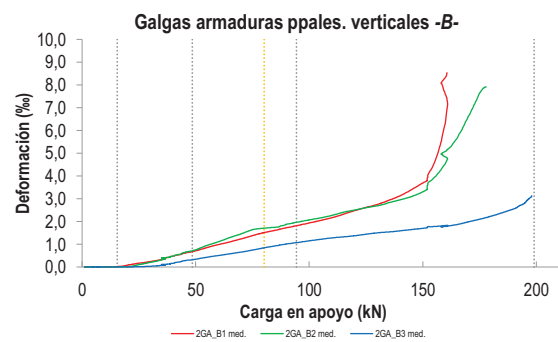
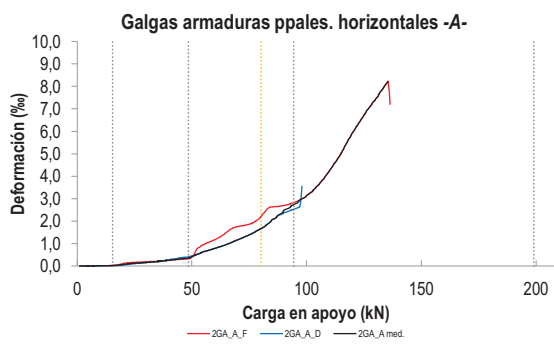
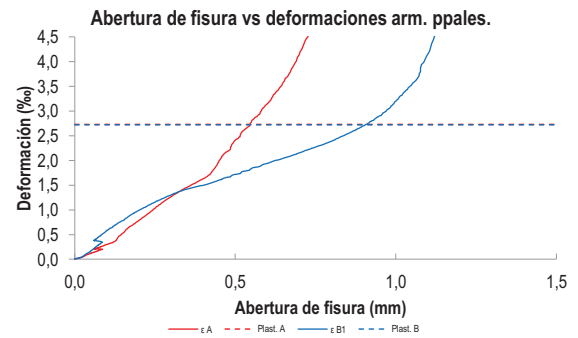
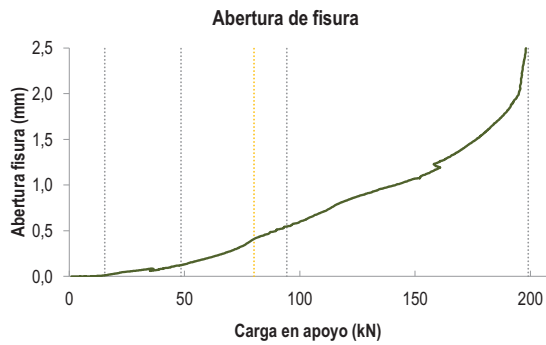
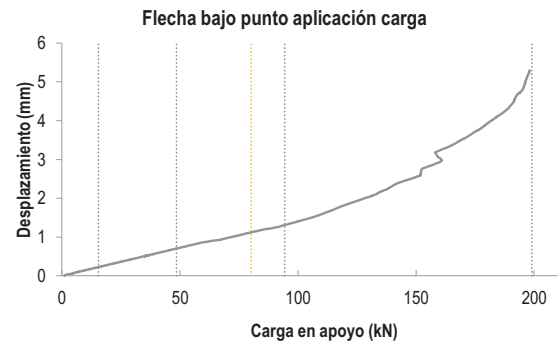
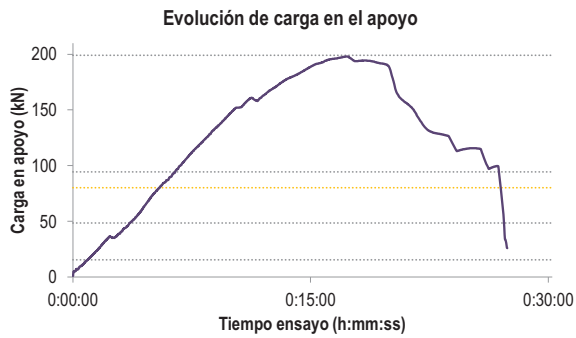
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



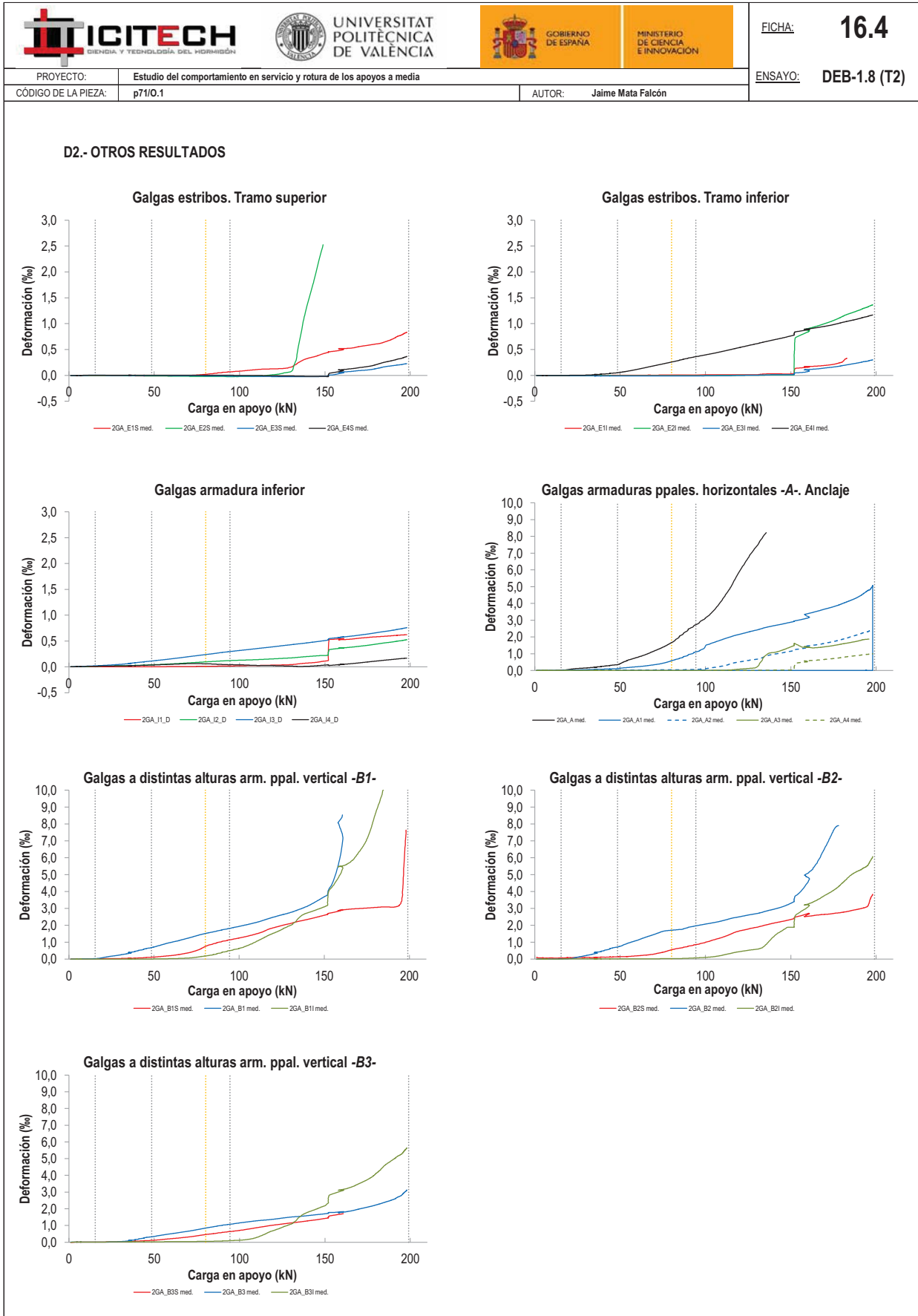
   		FICHA: 16.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.8 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 16.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.8 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9,95	5%	0,00	0,14	0,01	0,01	0,00	0,00	-
19,91	10%	0,03	0,29	0,06	0,08	0,02	0,01	-
29,86	15%	0,06	0,43	0,15	0,24	0,21	0,04	-
39,81	20%	0,08	0,58	0,25	0,48	0,48	0,17	-
49,76	25%	0,13	0,72	0,39	0,71	0,75	0,34	-
59,72	30%	0,20	0,86	0,77	0,98	1,10	0,50	-
69,67	35%	0,27	0,97	1,15	1,23	1,45	0,65	-
79,62	40%	0,40	1,11	1,64	1,50	1,70	0,84	-
89,58	45%	0,50	1,24	2,42	1,72	1,87	1,01	-
99,53	50%	0,59	1,40	3,11	1,93	2,07	1,15	-
109,48	55%	0,70	1,58	4,17	2,15	2,26	1,27	-
119,43	60%	0,82	1,81	5,82	2,46	2,49	1,37	-
129,39	65%	0,91	2,03	7,36	2,74	2,69	1,50	-
139,34	70%	0,98	2,29	-	3,10	2,93	1,58	-
149,29	75%	1,07	2,58	-	3,74	3,38	1,72	-
159,24	80%	1,20	3,06	-	7,09	4,76	1,80	-
169,20	85%	1,38	3,50	-	-	6,43	1,96	-
179,15	90%	1,56	3,88	-	-	7,84	2,21	-
189,10	95%	1,81	4,39	-	-	-	2,55	-
199,06	100%	2,26	5,04	-	-	-	2,98	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	15,44	7,8%	0,00	0,22	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	48,50	24,4%	0,12	0,70	0,36	0,68	0,72	0,33	-
Abertura de fisura 0,20 mm	59,96	30,1%	0,20	0,86	0,78	0,99	1,11	0,51	-
Abertura de fisura 0,40 mm	80,16	40,3%	0,40	1,12	1,66	1,51	1,71	0,84	-
Abertura de fisura 0,60 mm	99,86	50,2%	0,60	1,40	3,12	1,94	2,07	1,15	-
Abertura de fisura 0,80 mm	118,56	59,6%	0,80	1,79	5,65	2,43	2,48	1,36	-
Primera plastificación	94,37	47,4%	0,54	1,30	2,69	1,81	1,96	1,07	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **16.6**

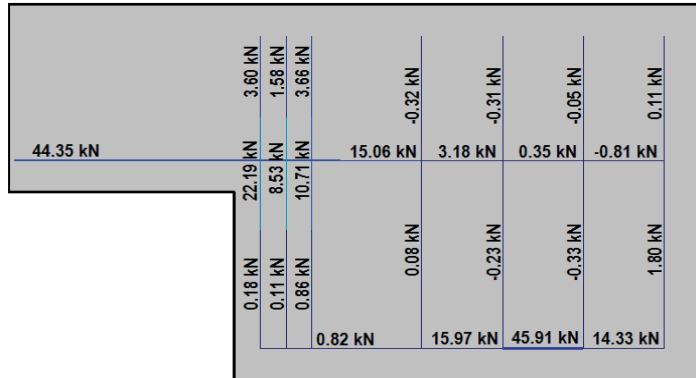
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1

ENSAYO: **DEB-1.8 (T2)**

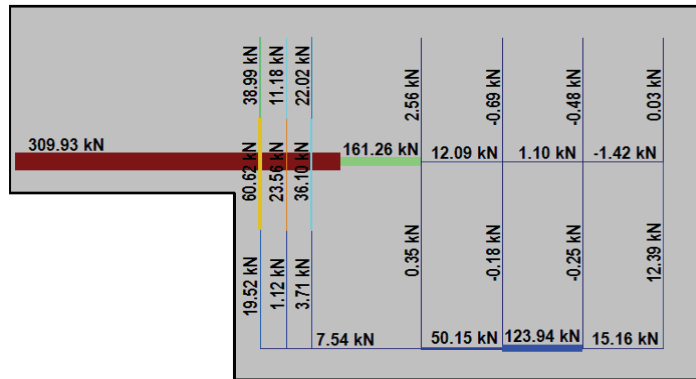
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

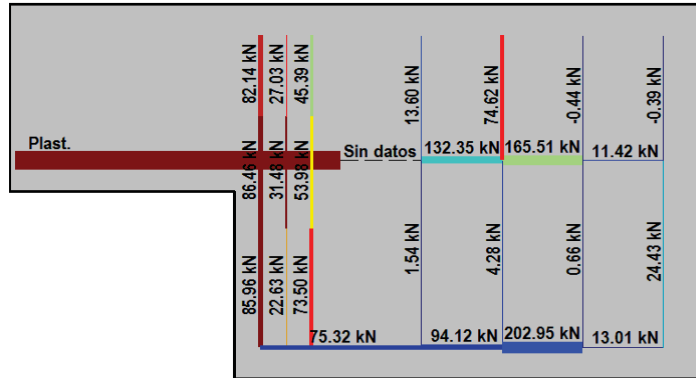
V (kN): 49,76
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,13



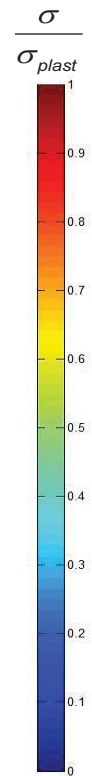
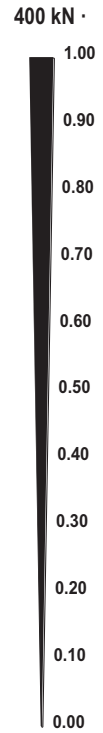
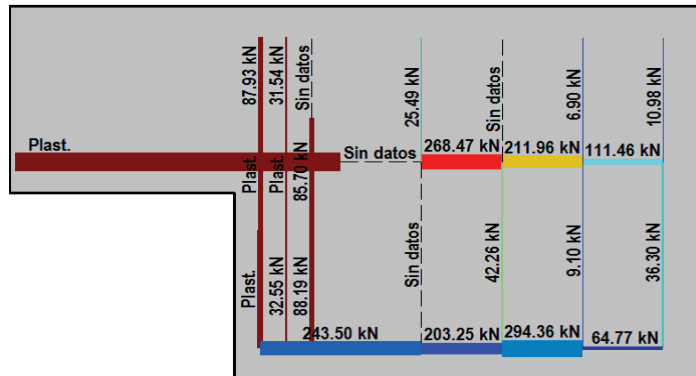
V (kN): 99,53
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,59



V (kN): 149,29
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,07



V (kN): 199,06
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,26



 		 		FICHA: 16.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.8 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



APOYO. ZONA POST-PICO (50% Vmax). INSTANTE PREVIO A COLAPSO



APOYO. ZONA POST-PICO (50% Vmax). INST. POST. A COLAPSO







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, pero no es muy larga, ya que hay varias fisuras paralelas.
 - Al alcanzar la carga máxima comienza a generarse una fisuración paralela en la biela que parte del apoyo. No se trata de una fisura concentrada.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ horizontal - 2º/ vertical por orden lógico de plastificación (B1-B2-B3)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisuración diagonal en la bielas, que se concentra en la cabeza de los estribos que forman el tirante vertical y produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se mantiene la carga hasta que baja al 50% de la carga última, instante en el cual salta de manera muy brusca el recubrimiento superior.

H.17 DEB-1.9 (T1)

				FICHA: 17.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.9 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.2
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 03/12/2010
 Edad (días): 35

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 3,39	Área (cm ²): 3,71	Área (cm ²): 0,00
α: 60%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1: -
 Variante 2: -

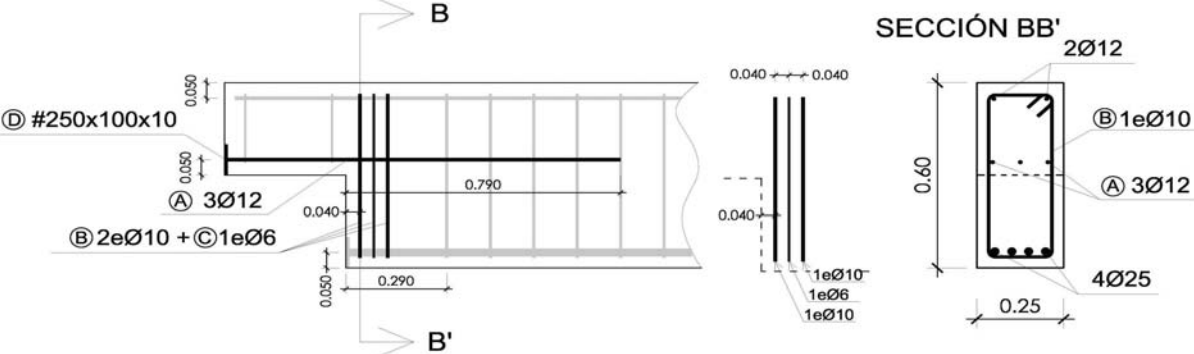
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
31,9	3,19	0,00%	- -

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 141,75
 V (w=0,4 mm) (kN): 67,46 48%
 Modo de fallo: SY (V1-H-V2)

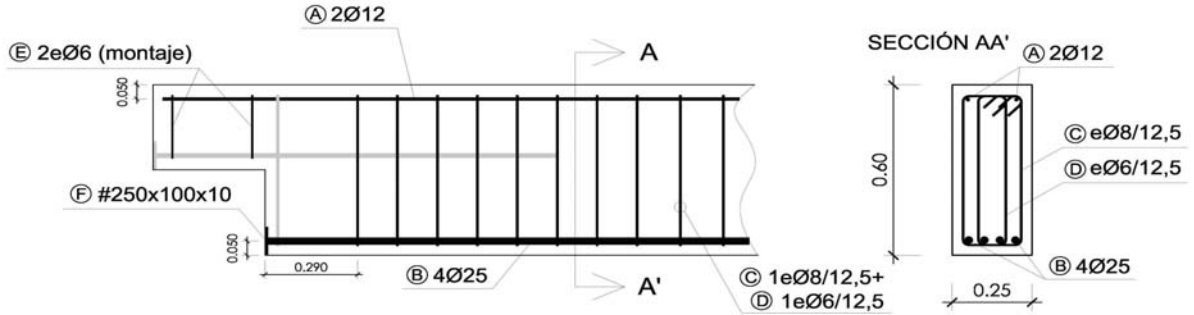
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

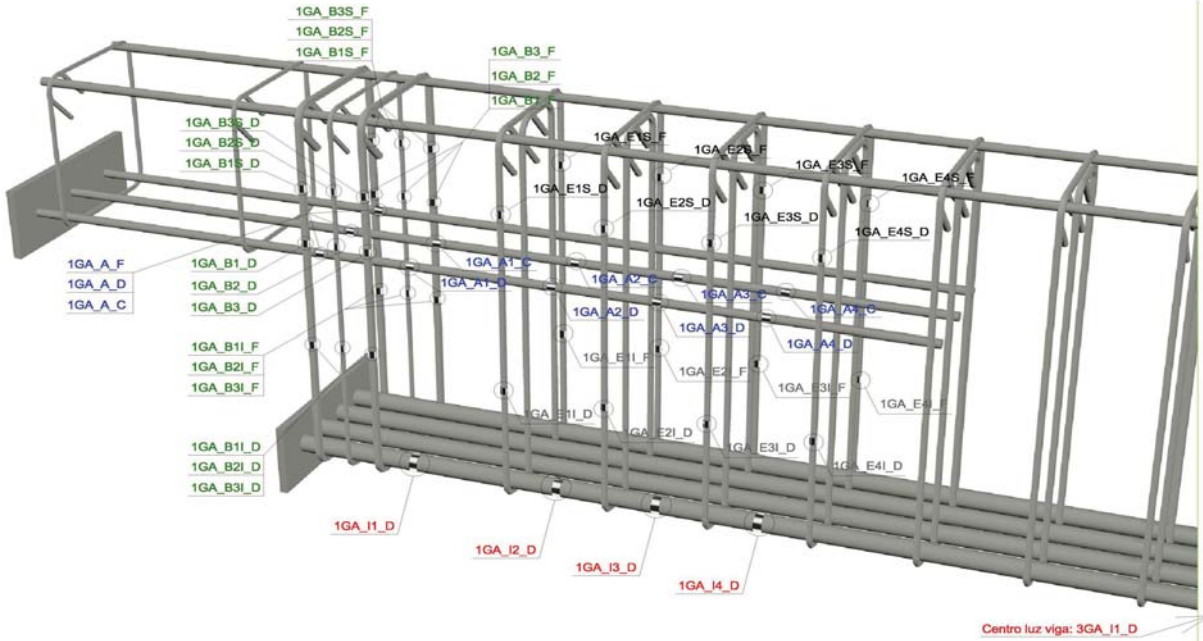


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

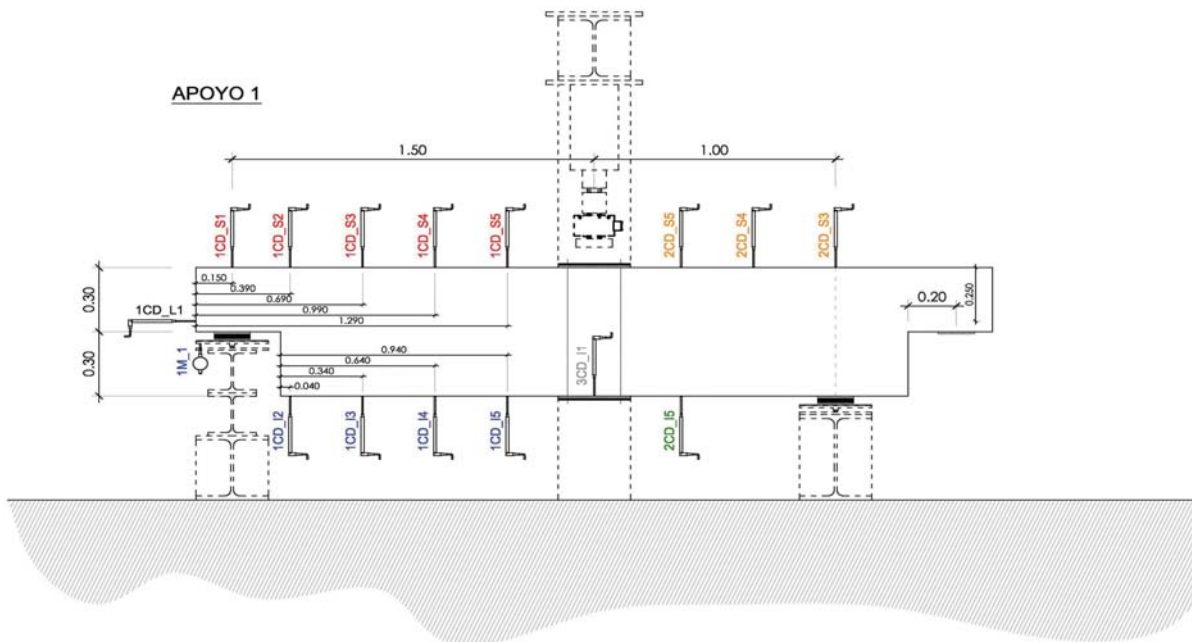
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-1.9 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.2	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



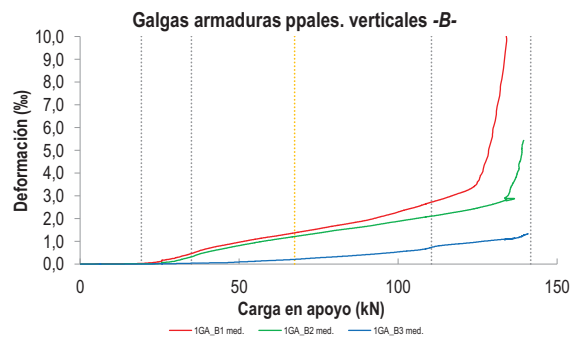
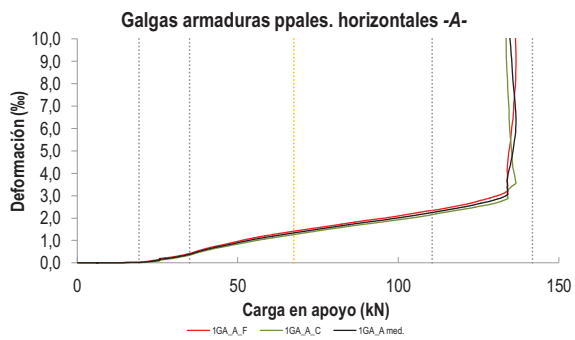
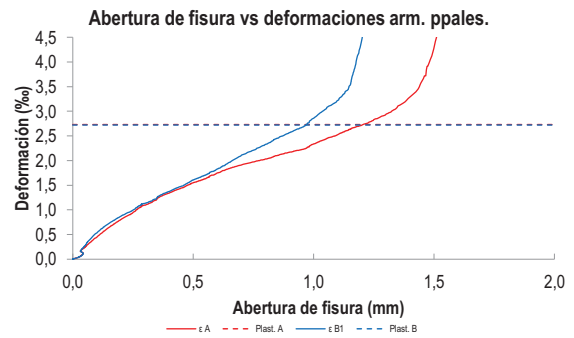
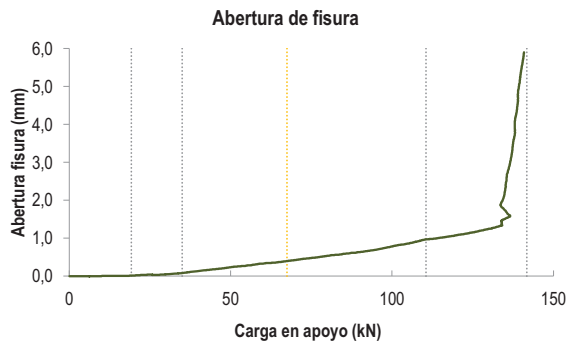
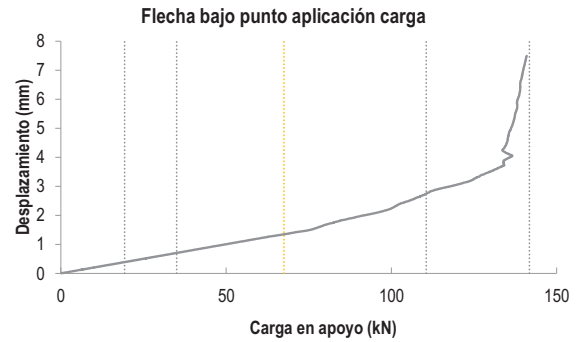
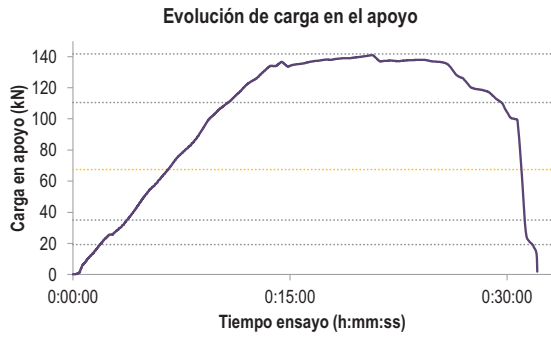
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



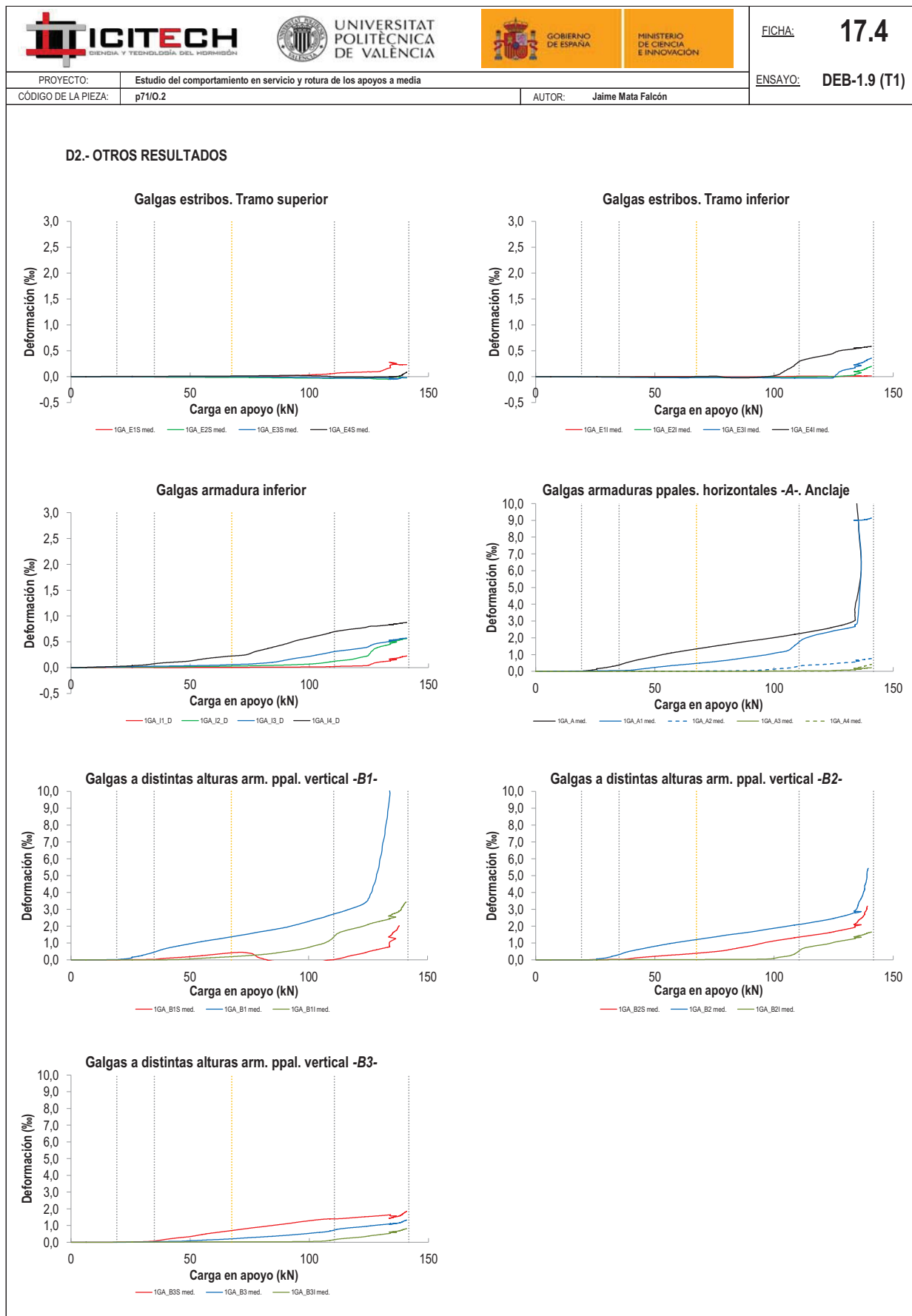
   		FICHA: 17.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.9 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 17.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.9 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
7,09	5%	0,00	0,14	0,01	0,01	0,00	0,00	-
14,17	10%	0,00	0,29	0,01	0,01	0,00	0,00	-
21,26	15%	0,03	0,43	0,04	0,04	0,01	0,00	-
28,35	20%	0,04	0,57	0,21	0,22	0,10	0,01	-
35,44	25%	0,09	0,71	0,40	0,48	0,34	0,04	-
42,52	30%	0,16	0,85	0,68	0,76	0,61	0,05	-
49,61	35%	0,23	0,99	0,89	0,95	0,80	0,09	-
56,70	40%	0,30	1,14	1,09	1,13	0,98	0,13	-
63,79	45%	0,36	1,28	1,26	1,28	1,13	0,18	-
70,87	50%	0,43	1,41	1,41	1,45	1,28	0,24	-
77,96	55%	0,51	1,59	1,57	1,63	1,43	0,30	-
85,05	60%	0,59	1,83	1,72	1,79	1,56	0,36	-
92,14	65%	0,66	2,00	1,85	1,99	1,70	0,43	-
99,22	70%	0,77	2,22	2,00	2,26	1,87	0,52	-
106,31	75%	0,89	2,55	2,15	2,54	2,02	0,62	-
113,40	80%	0,99	2,87	2,32	2,84	2,17	0,81	-
120,48	85%	1,09	3,08	2,50	3,18	2,34	0,91	-
127,57	90%	1,20	3,39	2,72	4,57	2,55	1,01	-
134,66	95%	2,16	4,41	5,48	10,80	3,14	1,11	-
141,75	100%	5,18	6,86	-	-	5,14	1,26	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

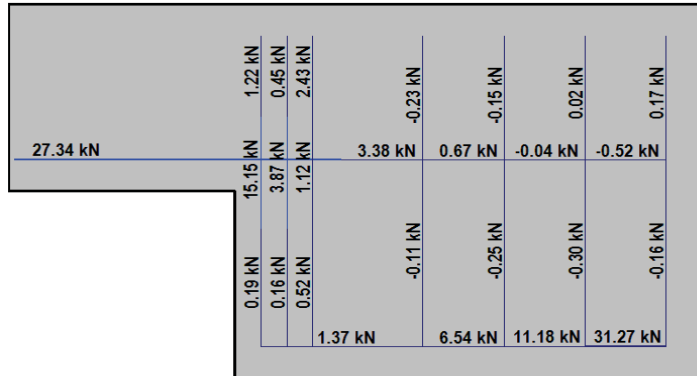
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	19,25	13,6%	0,02	0,39	0,02	0,02	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	35,00	24,7%	0,08	0,70	0,38	0,46	0,32	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	46,57	32,9%	0,20	0,93	0,80	0,87	0,72	0,06	-
Abertura de fisura 0,40 mm	67,46	47,6%	0,40	1,34	1,34	1,37	1,21	0,20	-
Abertura de fisura 0,60 mm	85,55	60,4%	0,60	1,84	1,73	1,81	1,57	0,37	-
Abertura de fisura 0,80 mm	101,79	71,8%	0,80	2,34	2,05	2,36	1,92	0,56	-
Primera plastificación	110,52	78,0%	0,96	2,74	2,25	2,71	2,10	0,73	-

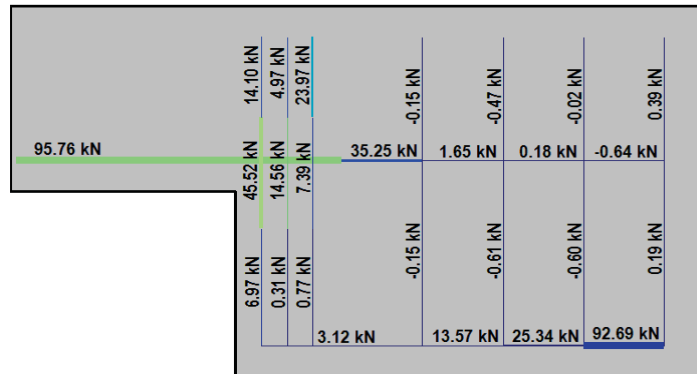
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

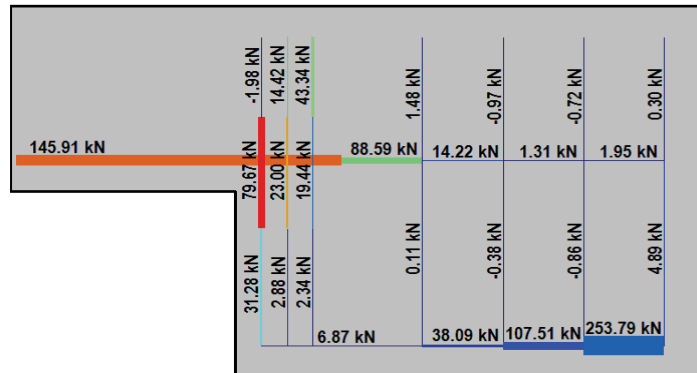
V (kN): 35,44
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,09



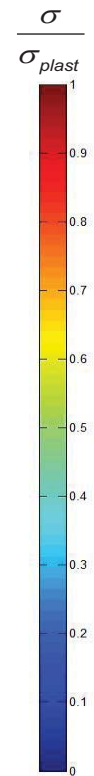
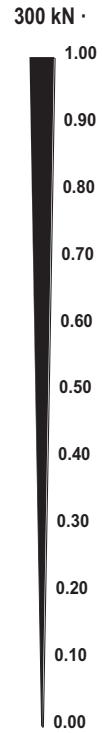
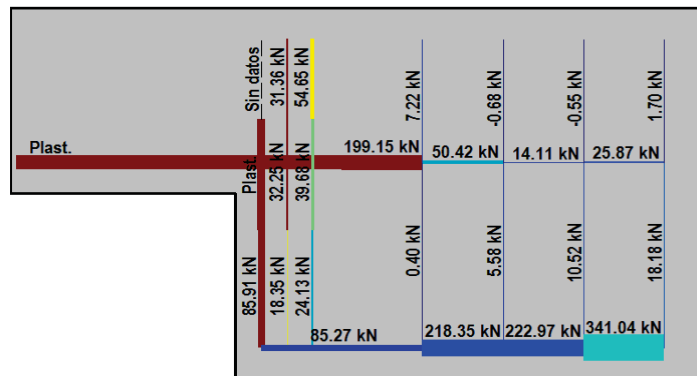
V (kN): 70,87
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,43







V (kN): 106,31
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,89




V (kN): 141,75
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 5,18




 		 		FICHA: 17.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.9 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA




DETALLE DE FISURA EN ZONA POST-PICO



DETALLE DEL APOYO TRAS LA ROTURA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: No hay
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura tiene una inclinación aproximada de 45° en su arranque y posteriormente se va verticalizando, hasta seguir el tercer estribo que compone el tirante vertical. Se orienta verticalmente a causa de la debilidad del tirante horizontal.
 - Tras alcanzar la carga máxima comienzan a generarse fisuras desde el borde del neopreno y entre éste y la esquina.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica la armadura horizontal y sólo los 2 primeros planos del tirante vertical. Primero plastifica el primer estribo vertical, pero casi a la misma carga la armadura horizontal; en cuanto plastifica la armadura horizontal aumenta mucho su deformación, puesto que no hay ninguna armadura que pueda soportar la fuerza en su dirección. Esa elevada deformación también se traduce en una elevada abertura de fisura.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar el pico máximo, la carga se estabiliza. La armadura horizontal se encuentra totalmente plastificada y no hay ningún otro mecanismo que permita resistir incrementos de tracción, por lo que la carga se bloquea. Finalmente la carga empieza a bajar, cuando la región ha experimentado una elevada deformabilidad.

H.18 DEB-1.9 (T2)

				FICHA: 18.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-1.9 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.2
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 03/12/2010
 Edad (días): 35

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 3,39	Área (cm ²): 3,71	Área (cm ²): 0,00
α: 60%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

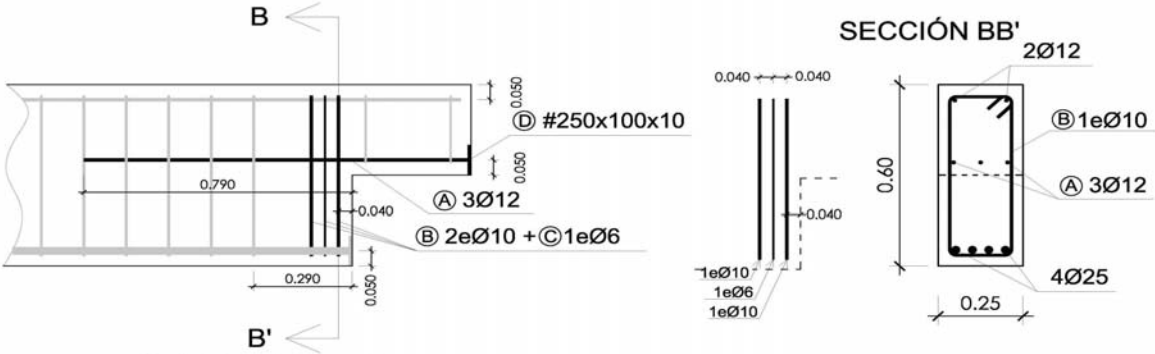
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 145,48
 V (w=0,4 mm) (kN): 66,40 46%
 Modo de fallo: SY (V1-H-V2)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
31,9	3,19	0,00%	- -

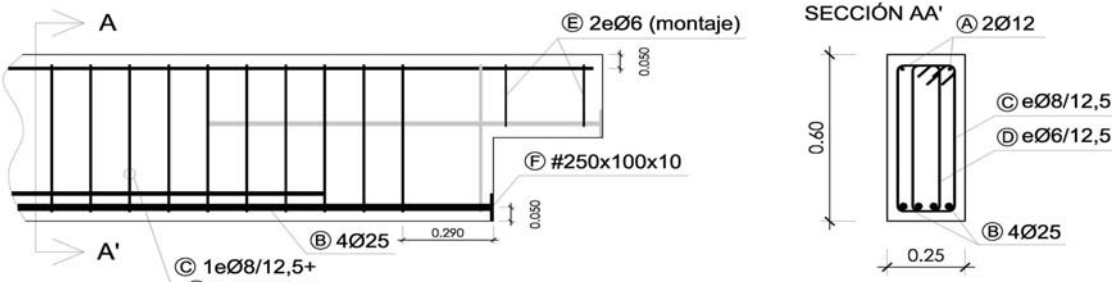
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

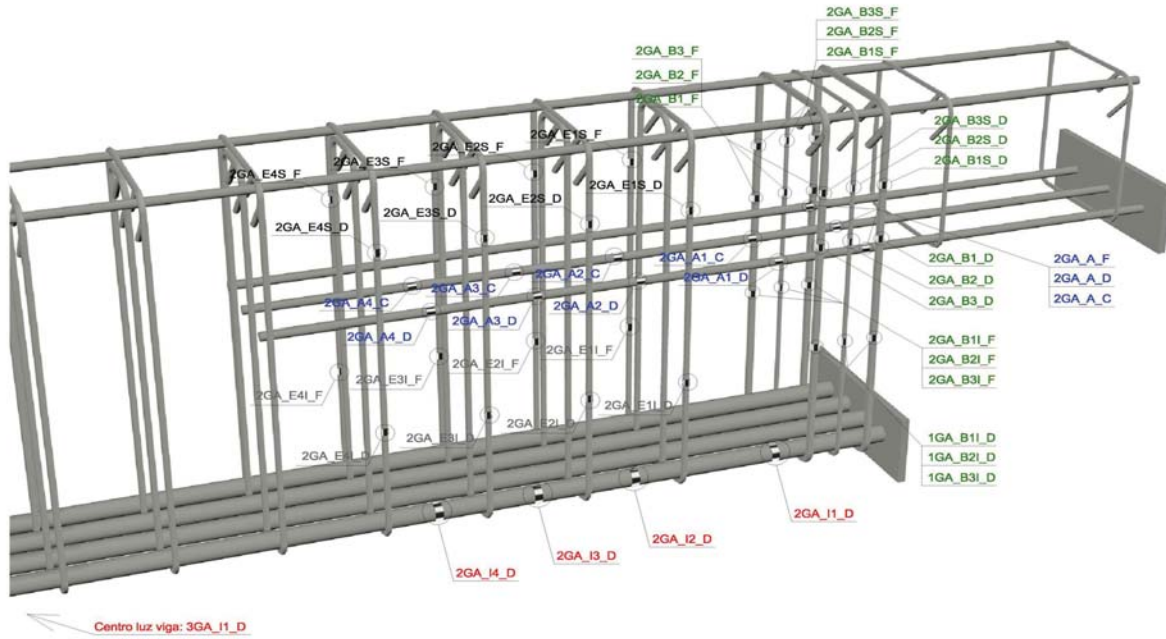
B2.- ARMADO DE LA VIGA



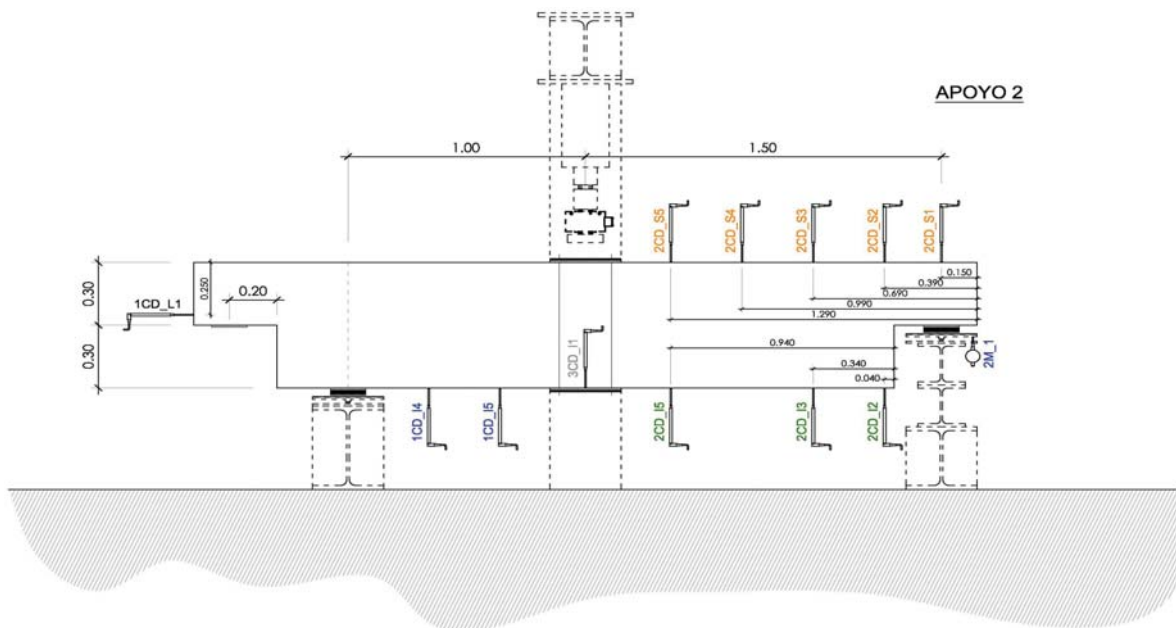
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



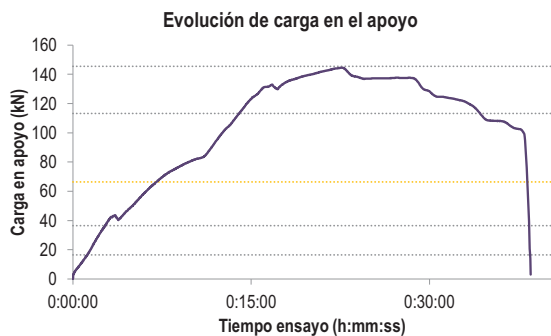
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



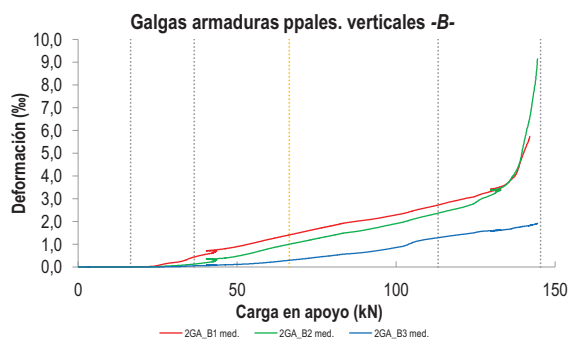
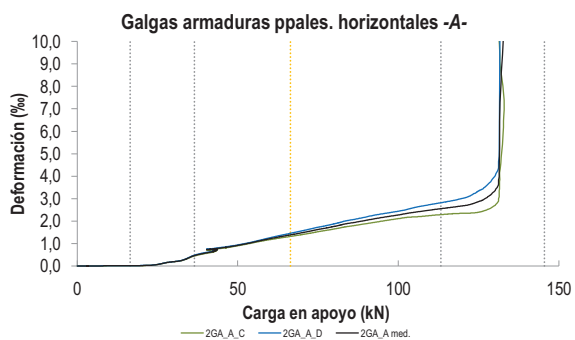
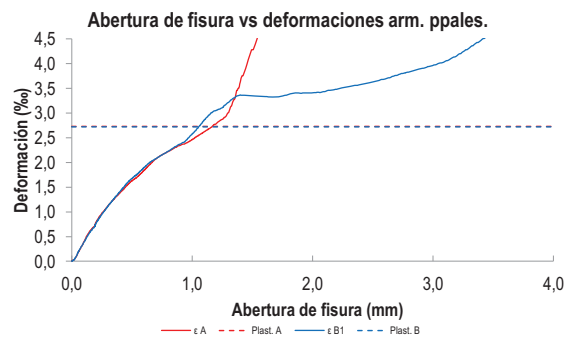
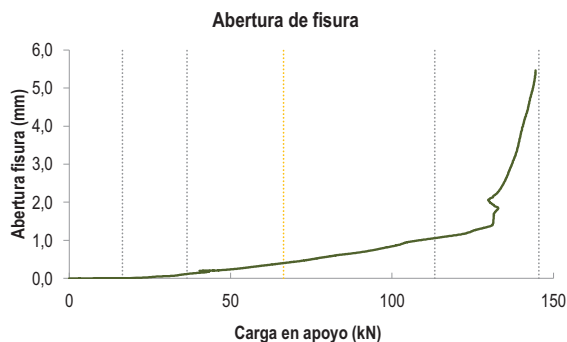
   		FICHA: 18.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.9 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

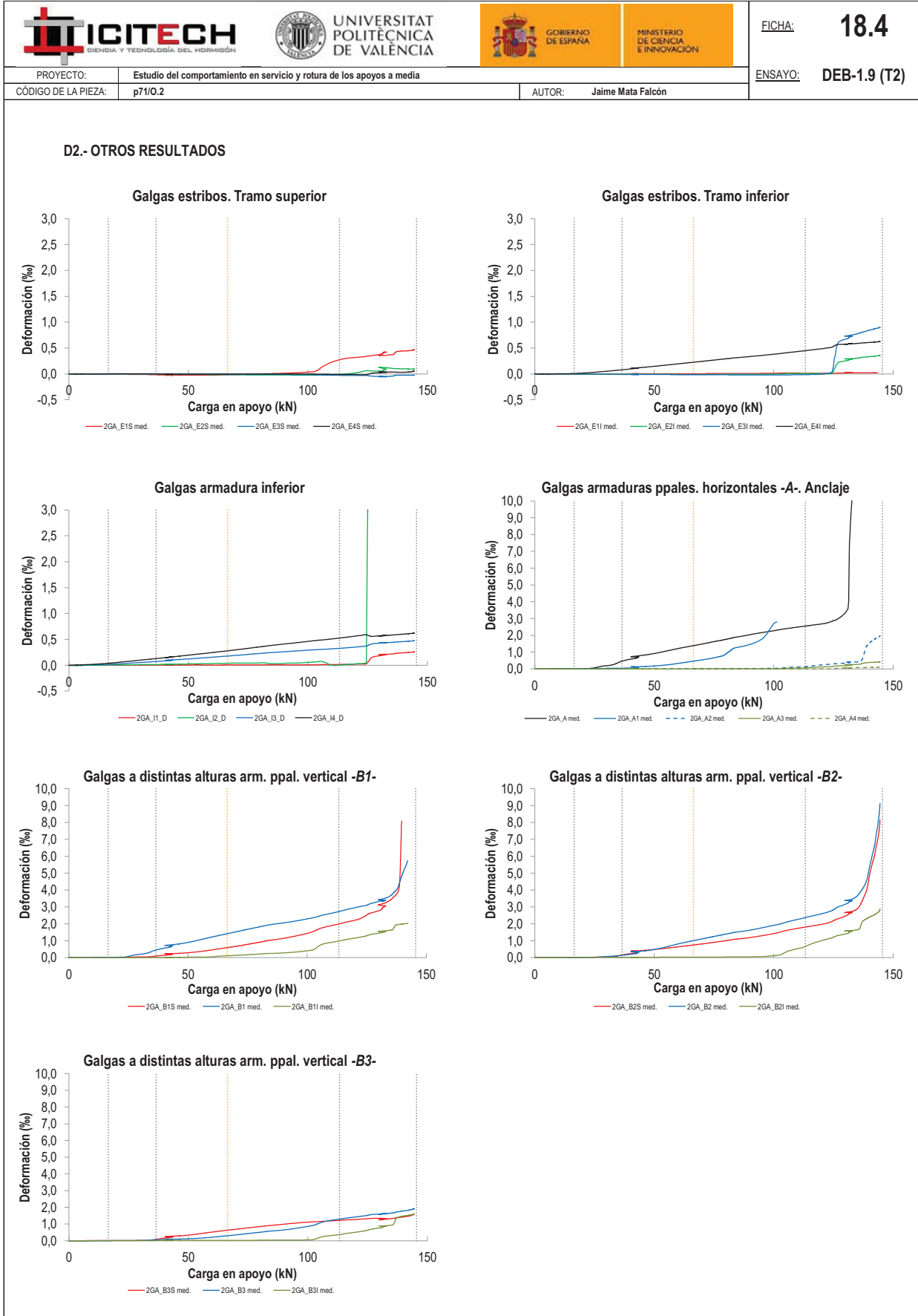
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE CAPTADOR DE DESPLAZAMIENTO SOBRE EL APOYO CONTRARIO AL ENSAYADO. NO PUEDE OBTENERSE LA FLECHA



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 18.5
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-1.9 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-
7,27	5%	0,00	-	0,01	0,00	0,00	0,00	-
14,55	10%	0,00	-	0,01	0,01	0,00	0,00	-
21,82	15%	0,02	-	0,03	0,02	0,01	0,00	-
29,10	20%	0,05	-	0,17	0,18	0,05	0,02	-
36,37	25%	0,12	-	0,46	0,44	0,13	0,06	-
43,64	30%	0,19	-	0,73	0,72	0,32	0,09	-
50,92	35%	0,24	-	0,94	0,92	0,50	0,12	-
58,19	40%	0,31	-	1,16	1,16	0,74	0,19	-
65,46	45%	0,39	-	1,36	1,39	0,98	0,29	-
72,74	50%	0,47	-	1,56	1,61	1,18	0,39	-
80,01	55%	0,57	-	1,77	1,82	1,39	0,51	-
87,29	60%	0,65	-	1,96	2,00	1,56	0,61	-
94,56	65%	0,75	-	2,15	2,15	1,75	0,73	-
101,83	70%	0,88	-	2,32	2,35	1,97	0,92	-
109,11	75%	1,01	-	2,47	2,59	2,23	1,21	-
116,38	80%	1,09	-	2,61	2,84	2,47	1,35	-
123,66	85%	1,22	-	2,82	3,08	2,78	1,50	-
130,93	90%	1,80	-	6,57	3,39	3,32	1,61	-
138,20	95%	3,36	-	-	4,41	4,58	1,74	-
145,48	100%	5,05	-	-	-	8,06	1,88	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,50	11,3%	0,00	-	0,01	0,01	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	36,50	25,1%	0,12	-	0,46	0,44	0,13	0,06	-
Abertura de fisura 0,20 mm	43,59	30,0%	0,20	-	0,73	0,71	0,32	0,09	-
Abertura de fisura 0,40 mm	66,40	45,6%	0,40	-	1,39	1,41	1,01	0,30	-
Abertura de fisura 0,60 mm	81,96	56,3%	0,60	-	1,83	1,88	1,45	0,54	-
Abertura de fisura 0,80 mm	97,56	67,1%	0,80	-	2,22	2,23	1,84	0,80	-
Primera plastificación	113,24	77,8%	1,06	-	2,55	2,73	2,37	1,29	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **18.6**

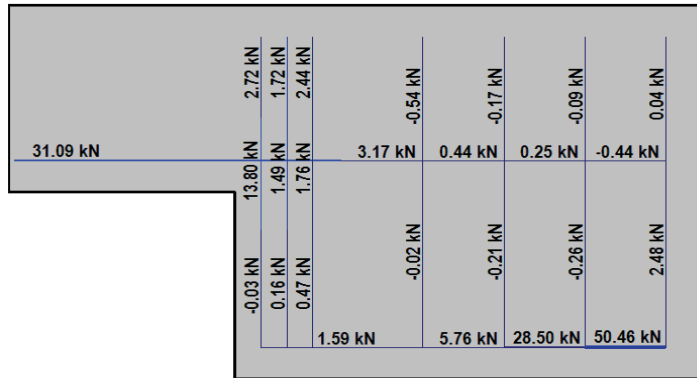
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2

ENSAYO: **DEB-1.9 (T2)**

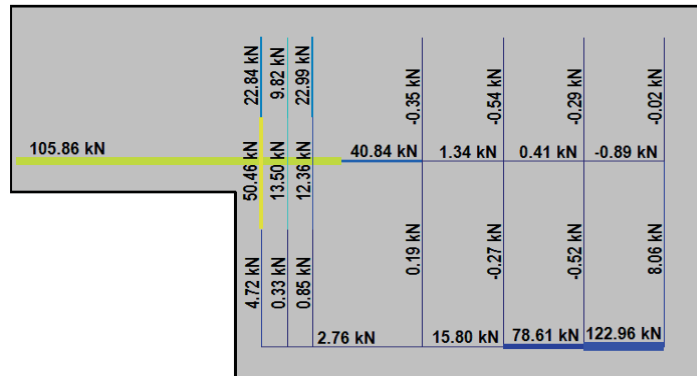
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

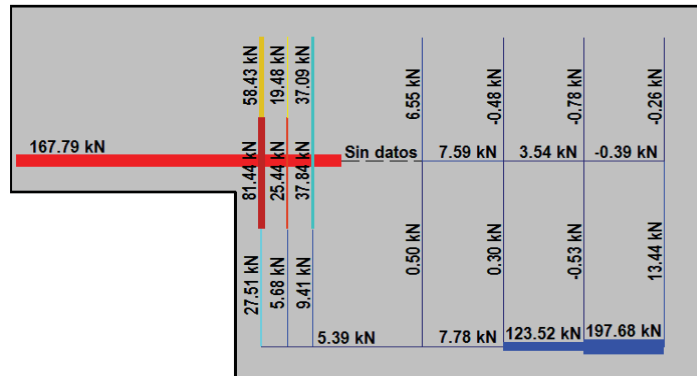
V (kN): 36,37
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,12



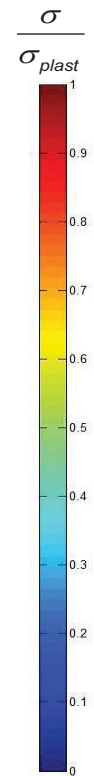
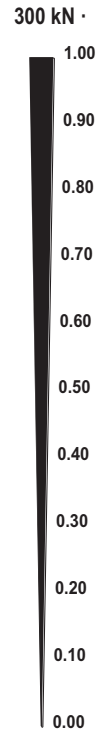
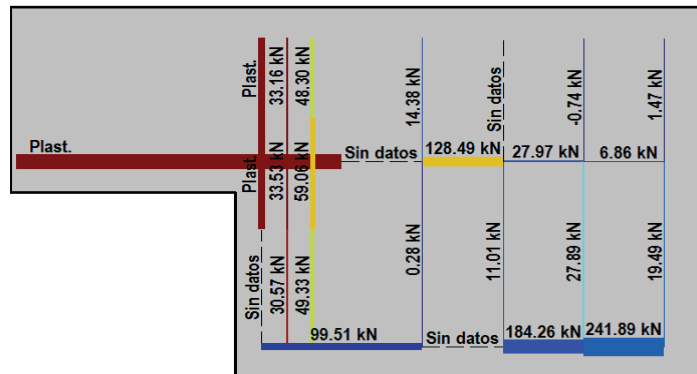
V (kN): 72,74
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,47





V (kN): 109,11
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,01



V (kN): 145,48
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 5,05



 		 		FICHA: 18.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-1.9 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA




VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA







DETALLE DE ROTURA. ELEVADA DEFORMACIÓN ARMADURA HOR.



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: No hay
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura tiene una inclinación aproximada de 45° en su arranque y posteriormente se verticaliza debido a la debilidad del tirante horizontal.
 - Como suele suceder en todos los casos, la rotura se produce por la fisura que aparece desde el borde del neopreno y la placa de anclaje de la armadura horizontal.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica la armadura horizontal y sólo los 2 primeros planos del tirante vertical. Primero plastifica el primer estribo vertical, pero casi a la misma carga la armadura horizontal; en cuanto plastifica la armadura horizontal aumenta mucho su deformación, puesto que no hay ninguna armadura que pueda soportar la fuerza en su dirección. Esa elevada deformación también se traduce en una elevada abertura de fisura.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar el pico máximo, la carga pierde un 5% de su carga. Tras estabilizarse la carga en este valor durante un par de minutos comienza a descender gradualmente, hasta que tras perder el 30% de la carga se finaliza el ensayo.

H.19 DEB-2.1 (T1)

				FICHA: 19.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/D.1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 28/07/2010
 Edad (días): 42

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ10	Armado: 3φ8	Armado: 2φ10
Área (cm ²): 2,36	Área (cm ²): 1,51	Área (cm ²): 1,57
α: 60%	β: 59%	γ: 50%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 194,87
 V (w=0,4 mm) (kN): 87,31 45%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
40,2	3,05	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

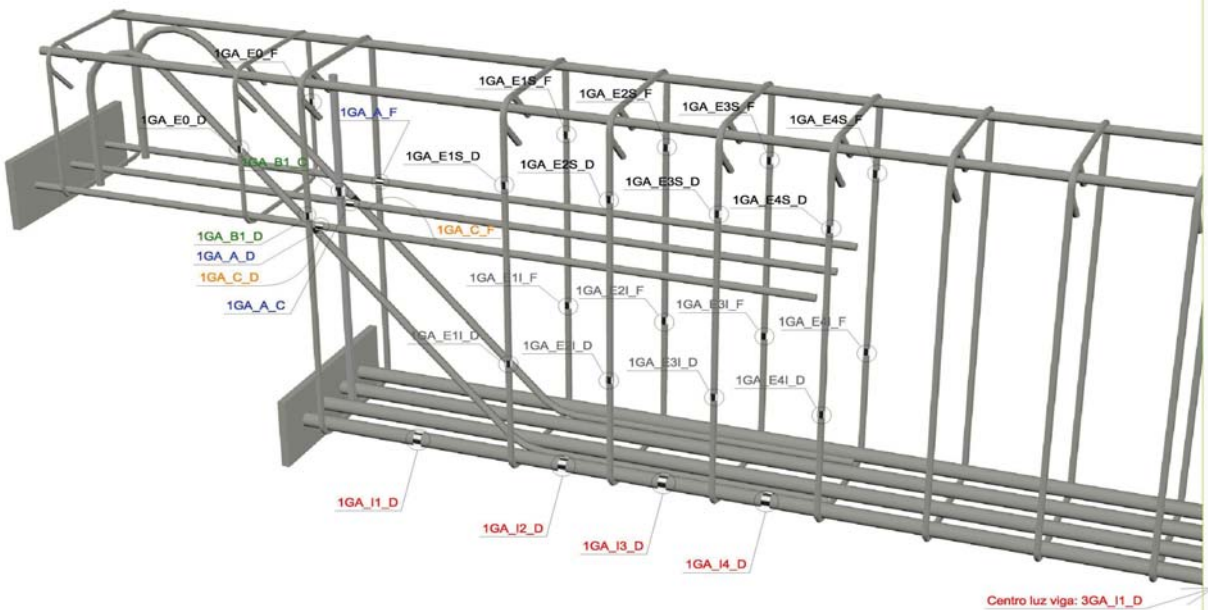
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

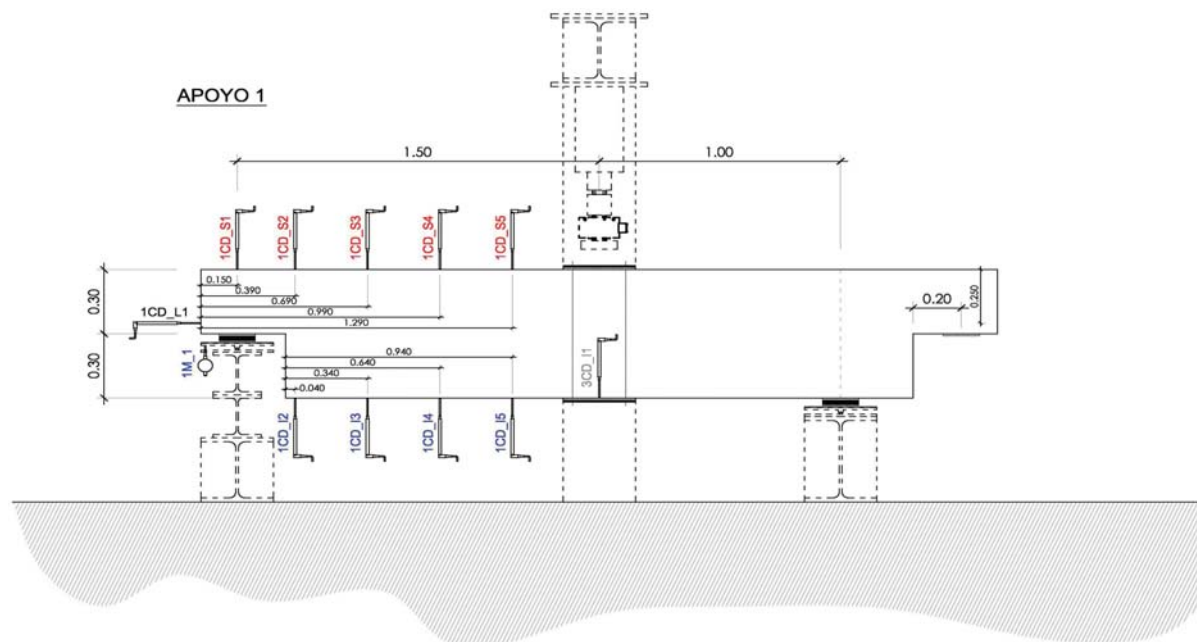
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



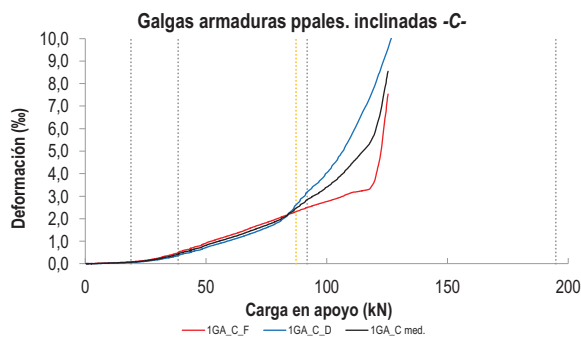
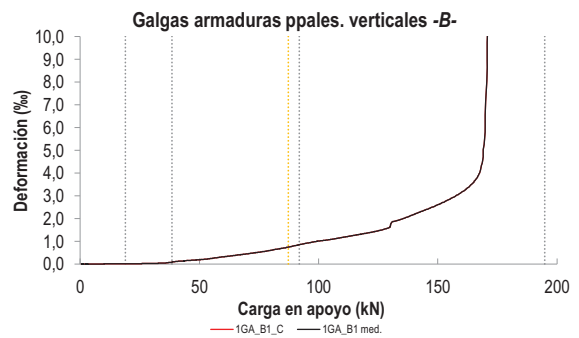
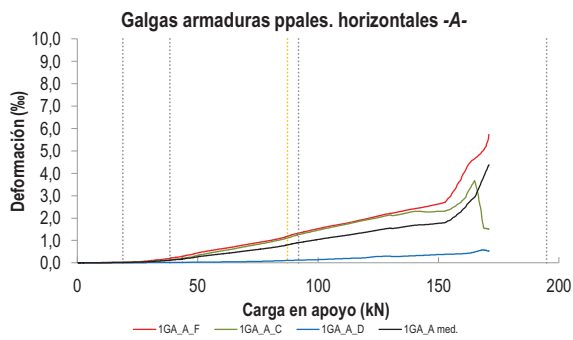
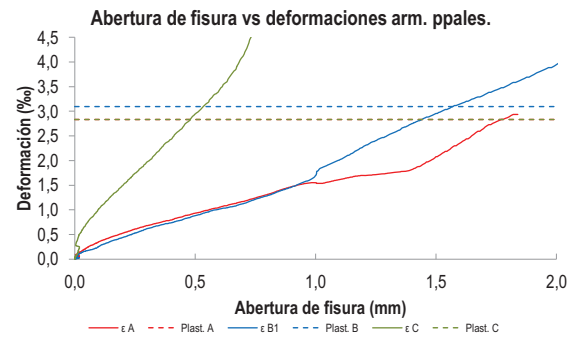
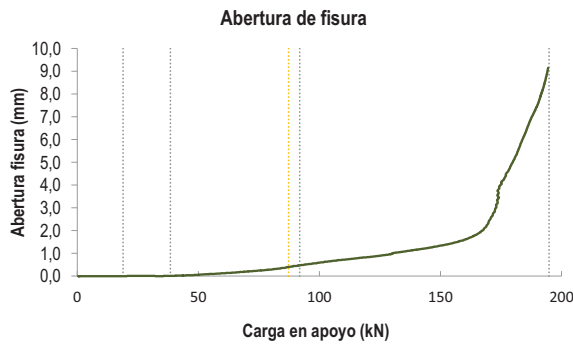
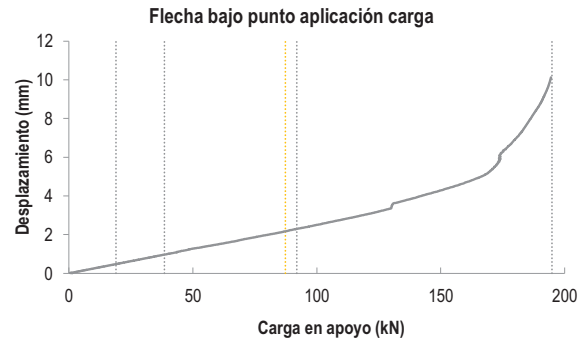
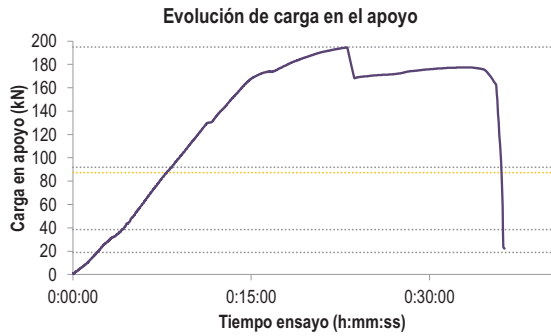
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 19.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

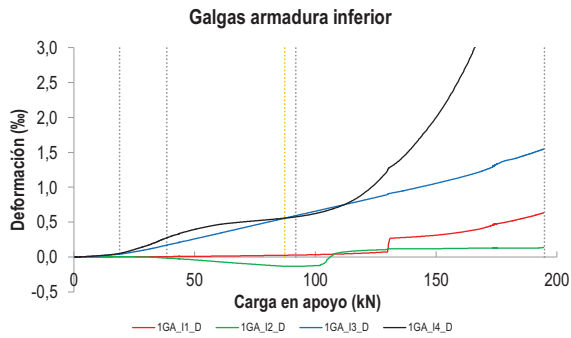
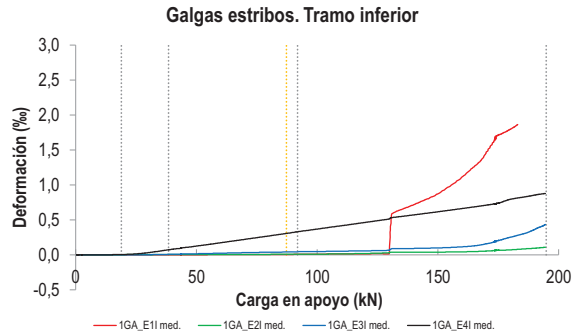
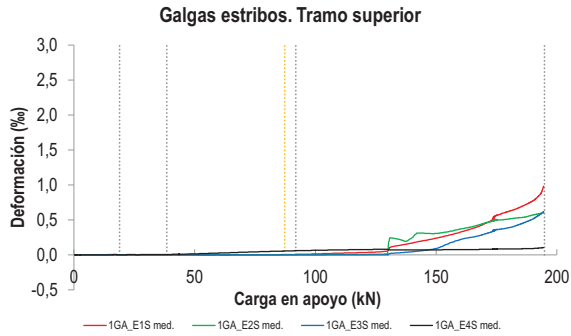
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



   		FICHA: 19.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

   		FICHA: 19.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.1 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
9,74	5%	0,00	0,24	0,01	0,00	-	-	0,03
19,49	10%	0,00	0,49	0,02	0,01	-	-	0,07
29,23	15%	0,02	0,73	0,05	0,02	-	-	0,20
38,97	20%	0,02	0,97	0,12	0,09	-	-	0,45
48,72	25%	0,05	1,24	0,24	0,18	-	-	0,76
58,46	30%	0,12	1,46	0,38	0,30	-	-	1,10
68,21	35%	0,19	1,69	0,51	0,42	-	-	1,45
77,95	40%	0,27	1,94	0,64	0,57	-	-	1,84
87,69	45%	0,41	2,18	0,81	0,75	-	-	2,50
97,44	50%	0,56	2,44	1,00	0,96	-	-	3,21
107,18	55%	0,69	2,70	1,16	1,12	-	-	4,07
116,92	60%	0,81	2,96	1,32	1,30	-	-	5,25
126,67	65%	0,92	3,25	1,50	1,51	-	-	8,24
136,41	70%	1,11	3,80	1,62	2,04	-	-	-
146,15	75%	1,26	4,14	1,72	2,43	-	-	-
155,90	80%	1,47	4,51	2,00	2,90	-	-	-
165,64	85%	1,91	4,99	3,21	3,80	-	-	-
175,39	90%	3,78	6,12	-	14,70	-	-	-
185,13	95%	6,34	7,80	-	-	-	-	-
194,87	100%	8,44	9,52	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

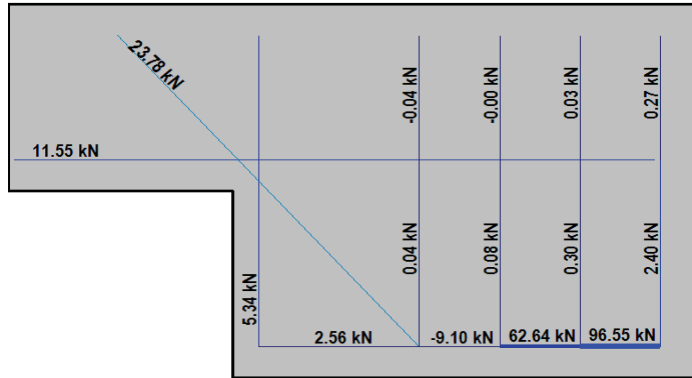
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,96	9,7%	0,00	0,48	0,02	0,01	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	38,50	19,8%	0,00	0,97	0,12	0,09	-	-	0,44
Abertura de fisura 0,20 mm	69,49	35,7%	0,20	1,73	0,53	0,44	-	-	1,50
Abertura de fisura 0,40 mm	87,31	44,8%	0,40	2,17	0,80	0,74	-	-	2,46
Abertura de fisura 0,60 mm	100,40	51,5%	0,60	2,51	1,05	1,02	-	-	3,44
Abertura de fisura 0,80 mm	116,58	59,8%	0,80	2,95	1,31	1,29	-	-	5,19
Primera plastificación	91,91	47,2%	0,48	2,29	0,90	0,85	-	-	2,82

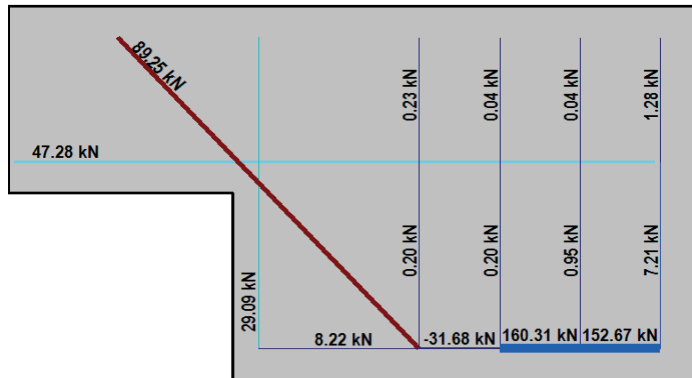
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

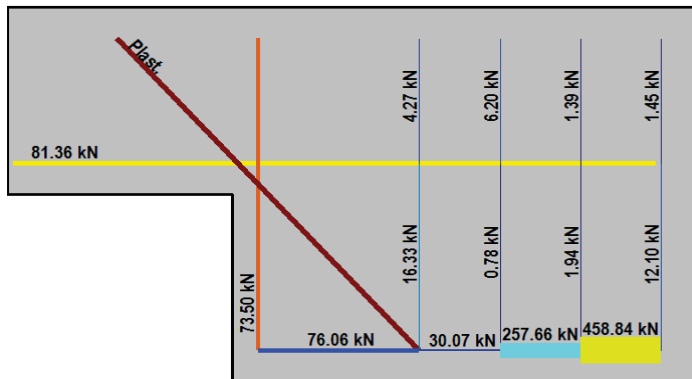
V (kN): 48,72
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,05



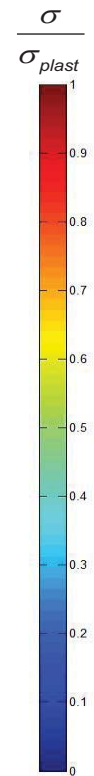
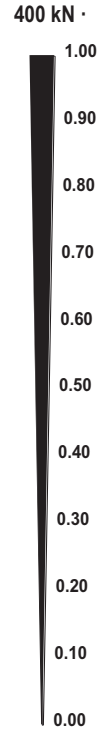
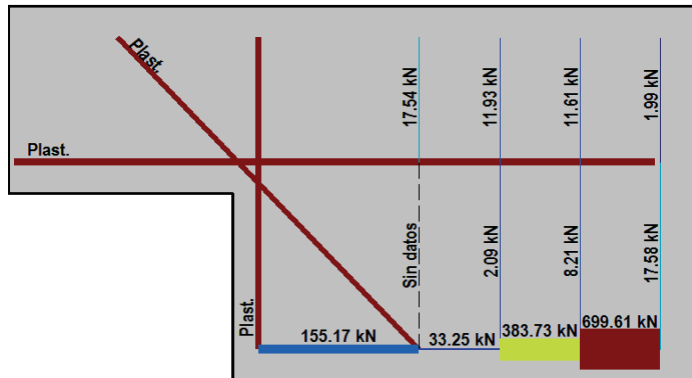
V (kN): 97,44
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,56



V (kN): 146,15
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 1,26



V (kN): 194,87
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 8,44



   		FICHA: 19.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón
		ENSAYO: DEB-2.1 (T1)

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN AL 80% DE LA CARGA MÁXIMA



DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA







VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura tiene una inclinación de unos 45°. Es la principal fisura, incluso en rotura, que se junta con la fisura a la altura de la armadura superior y produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente la armadura inclinada (C), bastante después plastifican casi simultáneamente las armaduras vertical (B) y horizontal (A).
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progreso de la fisura que parte de la esquina, que produce el desprendimiento del recubrimiento superior del hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima se produce un descenso súbito en el entorno del 13% de la carga. La carga permanece estabilizada e incluso va tomando carga durante bastante rato.

H.20 DEB-2.1 (T2)

	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA			FICHA: 20.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p49/D.1
 Fecha horm.: 16/06/2010
 Fecha ensayo: 29/07/2010
 Edad (días): 43

Factor de cuantía de armado: p49

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ10	Armado: 3φ8	Armado: 2φ10
Área (cm ²): 2,36	Área (cm ²): 1,51	Área (cm ²): 1,57
α: 60%	β: 59%	γ: 50%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

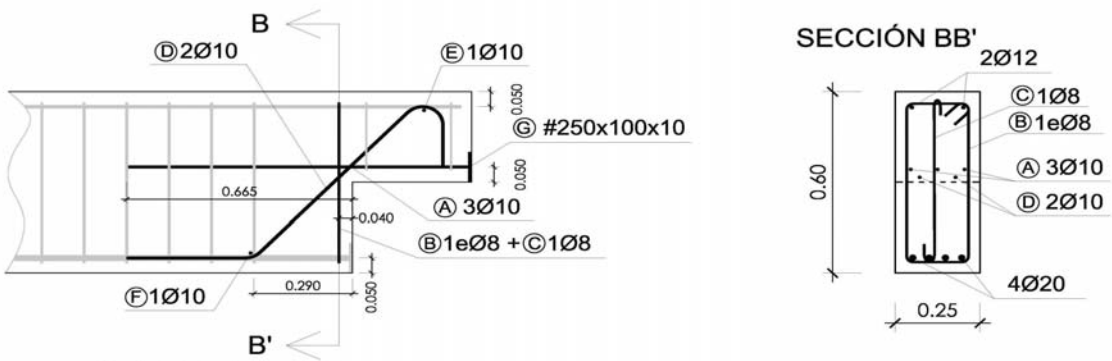
V última (kN): 199,58
 V (w=0,4 mm) (kN): 71,37 36%
 Modo de fallo: SY (D-V-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
40,2	3,05	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

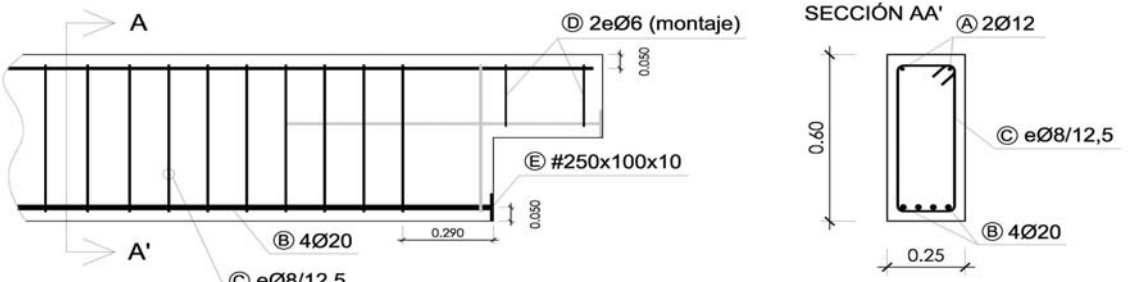
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

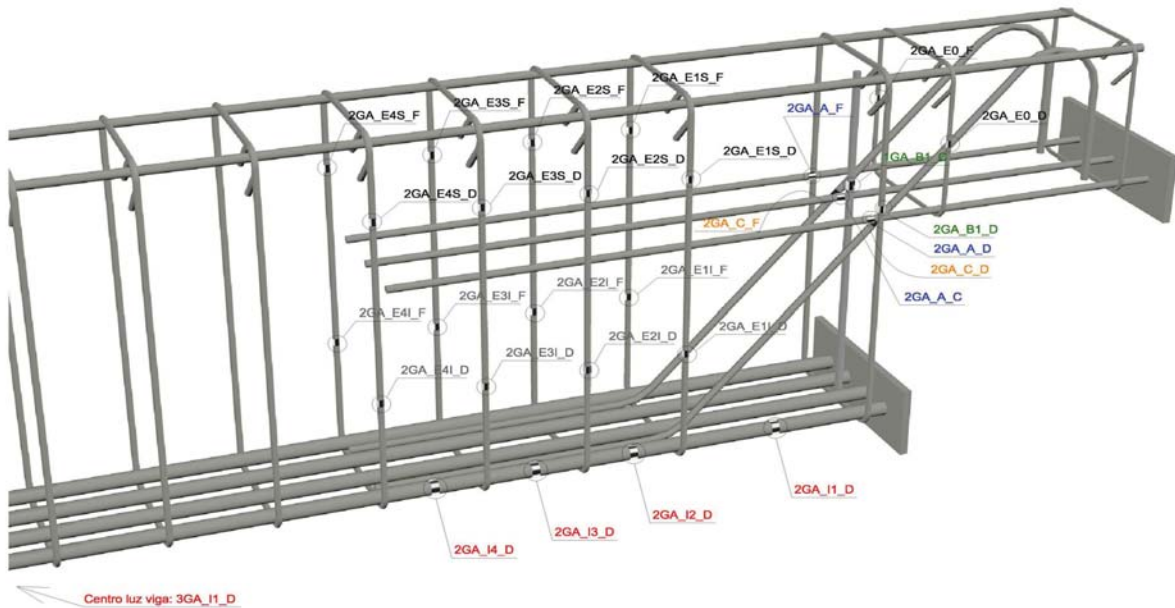


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

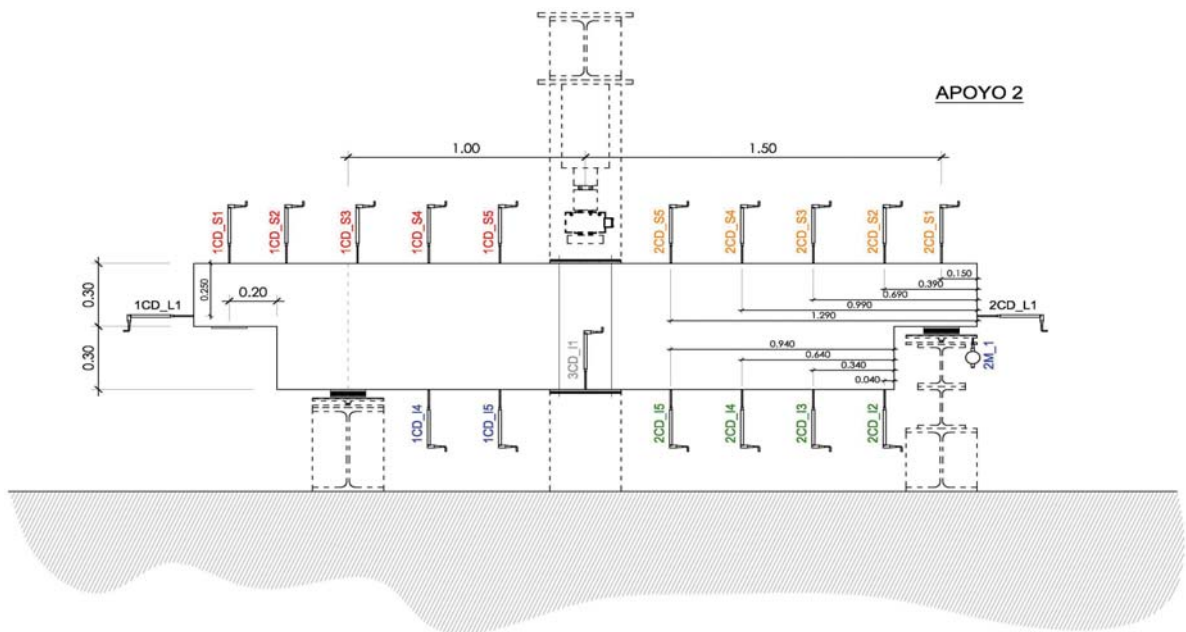
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/D.1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



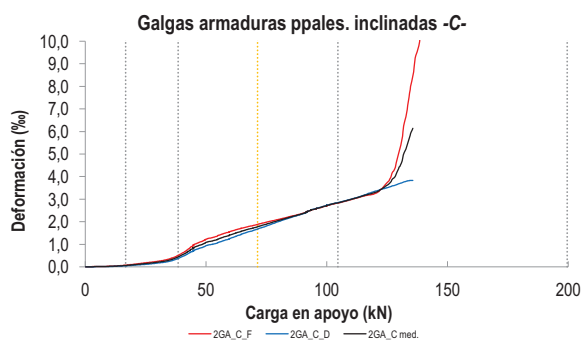
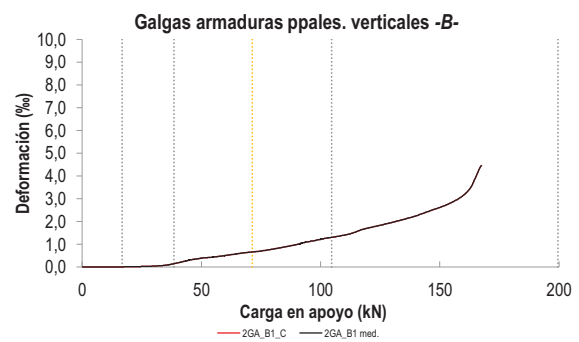
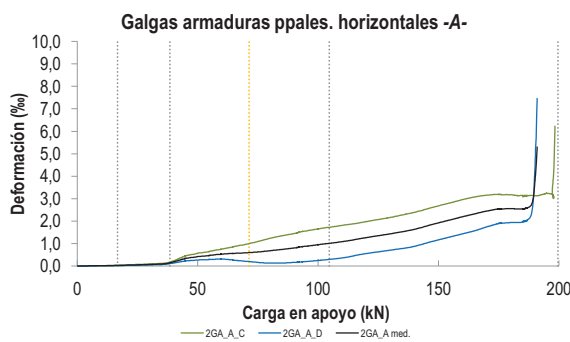
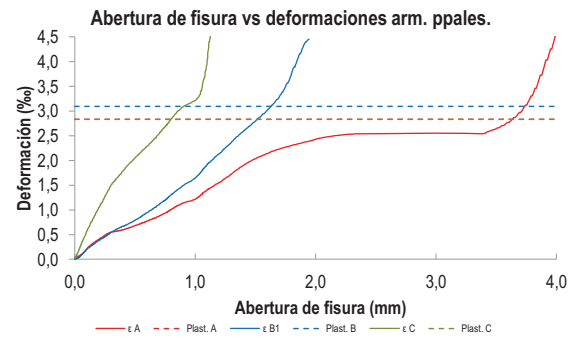
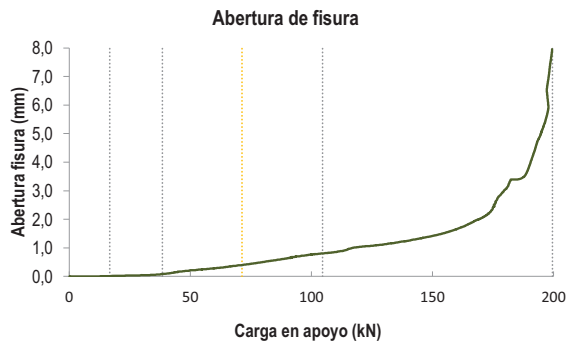
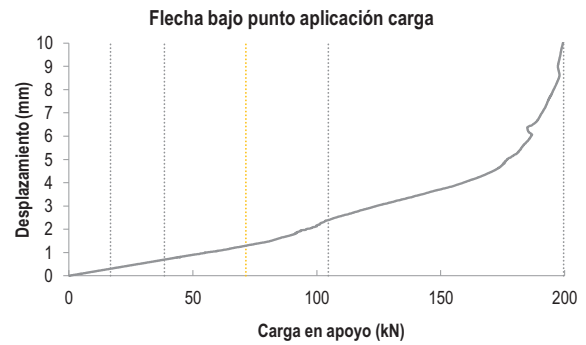
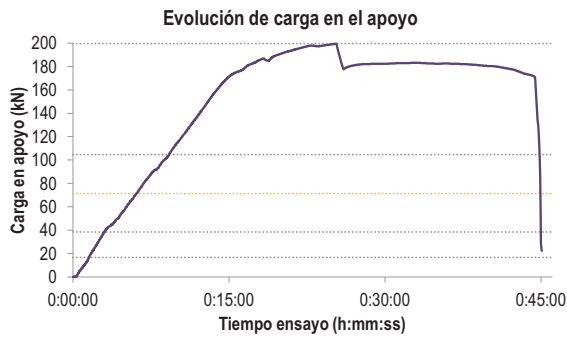
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 20.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

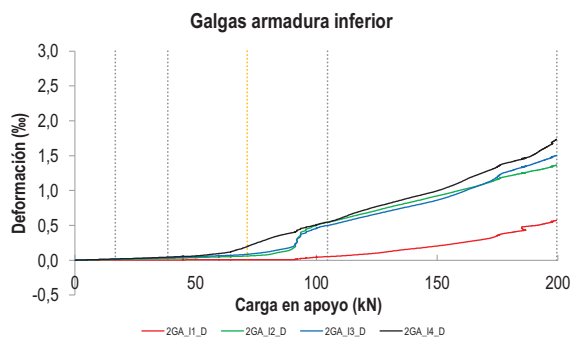
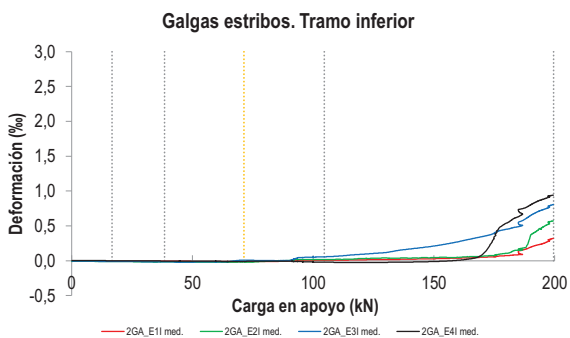
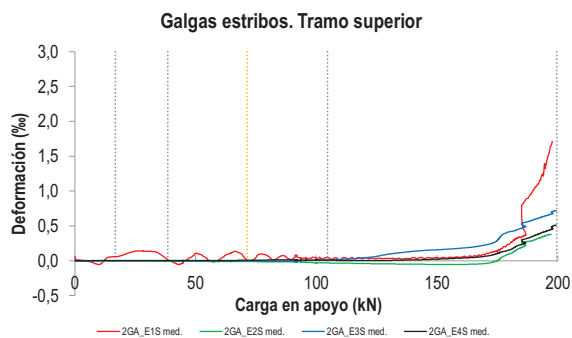
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



   		FICHA: 20.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS A DISTINTAS ALTURAS DEL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-.

   		FICHA: 20.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

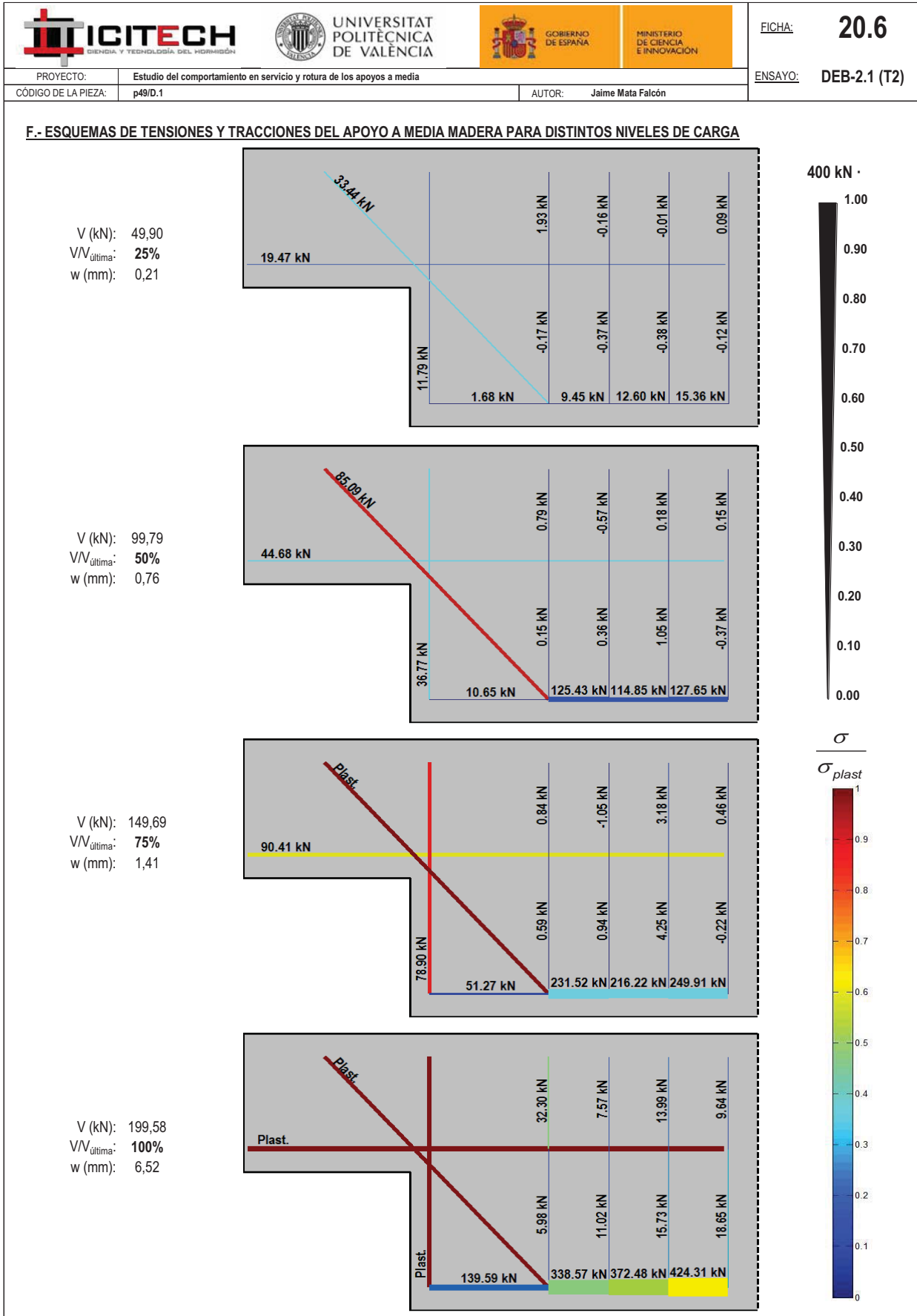
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
9,98	5%	0,00	0,18	0,01	0,00	-	-	0,02
19,96	10%	0,02	0,36	0,03	0,02	-	-	0,09
29,94	15%	0,04	0,54	0,07	0,04	-	-	0,21
39,92	20%	0,09	0,72	0,18	0,18	-	-	0,52
49,90	25%	0,21	0,90	0,41	0,39	-	-	1,06
59,87	30%	0,28	1,07	0,53	0,50	-	-	1,40
69,85	35%	0,38	1,26	0,59	0,65	-	-	1,73
79,83	40%	0,50	1,46	0,68	0,79	-	-	2,05
89,81	45%	0,63	1,77	0,80	0,99	-	-	2,36
99,79	50%	0,76	2,15	0,95	1,22	-	-	2,71
109,77	55%	0,85	2,56	1,08	1,40	-	-	2,98
119,75	60%	1,03	2,87	1,26	1,71	-	-	3,30
129,73	65%	1,12	3,16	1,43	1,96	-	-	4,42
139,71	70%	1,25	3,43	1,63	2,24	-	-	-
149,69	75%	1,41	3,71	1,92	2,61	-	-	-
159,67	80%	1,65	4,02	2,19	3,15	-	-	-
169,64	85%	2,03	4,44	2,44	4,37	-	-	-
179,62	90%	2,99	5,24	2,55	-	-	-	-
189,60	95%	4,05	6,80	3,12	-	-	-	-
199,58	100%	6,52	9,04	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,76	8,4%	0,00	0,30	0,03	0,01	-	-	0,06
Punto de cambio de rigidez	38,50	19,3%	0,08	0,69	0,14	0,15	-	-	0,44
Abertura de fisura 0,20 mm	49,50	24,8%	0,20	0,89	0,41	0,38	-	-	1,05
Abertura de fisura 0,40 mm	71,37	35,8%	0,40	1,30	0,60	0,67	-	-	1,78
Abertura de fisura 0,60 mm	87,67	43,9%	0,60	1,69	0,77	0,94	-	-	2,28
Abertura de fisura 0,80 mm	103,84	52,0%	0,80	2,36	1,00	1,29	-	-	2,82
Primera plastificación	104,64	52,4%	0,80	2,39	1,01	1,31	-	-	2,84

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



 		 		FICHA: 20.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p49/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN EN SERVICIO



DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA. FISURAS FLEXIÓN



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura tiene una inclinación de unos 45°. Es la principal fisura, incluso en rotura, que se junta con la fisura a la altura de la armadura superior y produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente la armadura inclinada (C), bastante después la vertical (B) y ya cerca de la carga máxima plastifica la armadura horizontal (A). Cuando plastifica la armadura vertical y puesto que a la armadura horizontal todavía le queda resistencia, la biela se inclina más y se manda algo de carga a los estribos de cortante de la viga.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progreso de la fisura que parte de la esquina, que produce el desprendimiento del recubrimiento superior del hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima se produce un descenso súbito en el entorno del 10% de la carga. La carga permanece estabilizada en ese nivel de carga bastante rato.

H.21 DEB-2.2 (T1)

				FICHA: 21.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 21/12/2010
 Edad (días): 53

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ12	Armado: 4φ10	Armado: 2φ12+1φ10
Área (cm ²): 4,52	Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 3,05
α: 56%	β: 58%	γ: 51%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

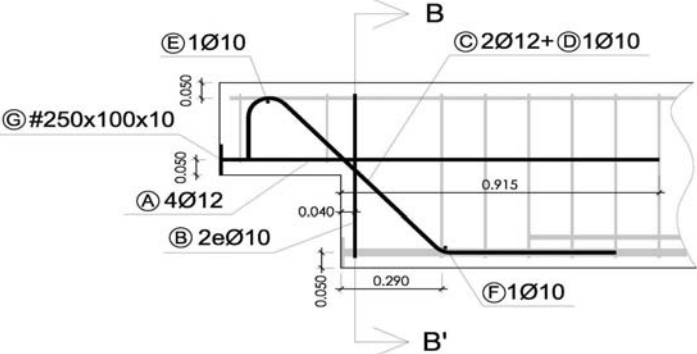
V última (kN): 321,82
 V (w=0,4 mm) (kN): 126,61 39%
 Modo de fallo: SY+SP (D+V+H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
33,3	2,98	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

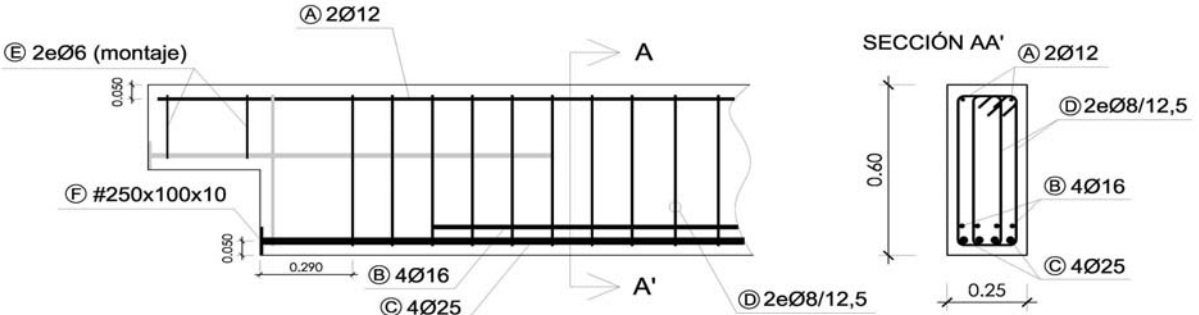
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

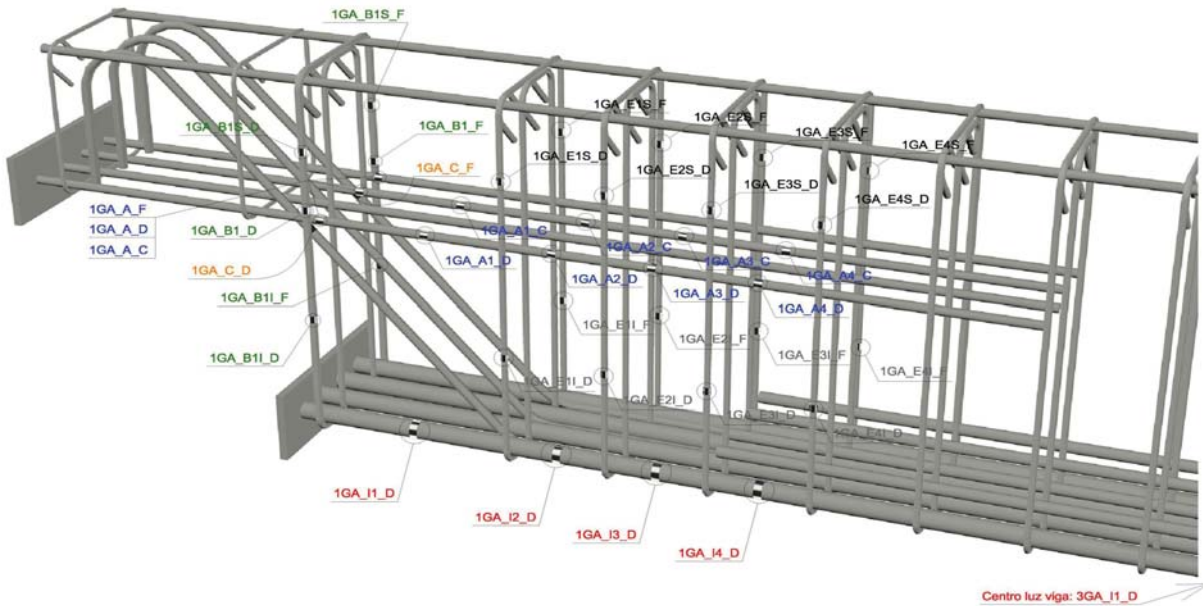
B2.- ARMADO DE LA VIGA



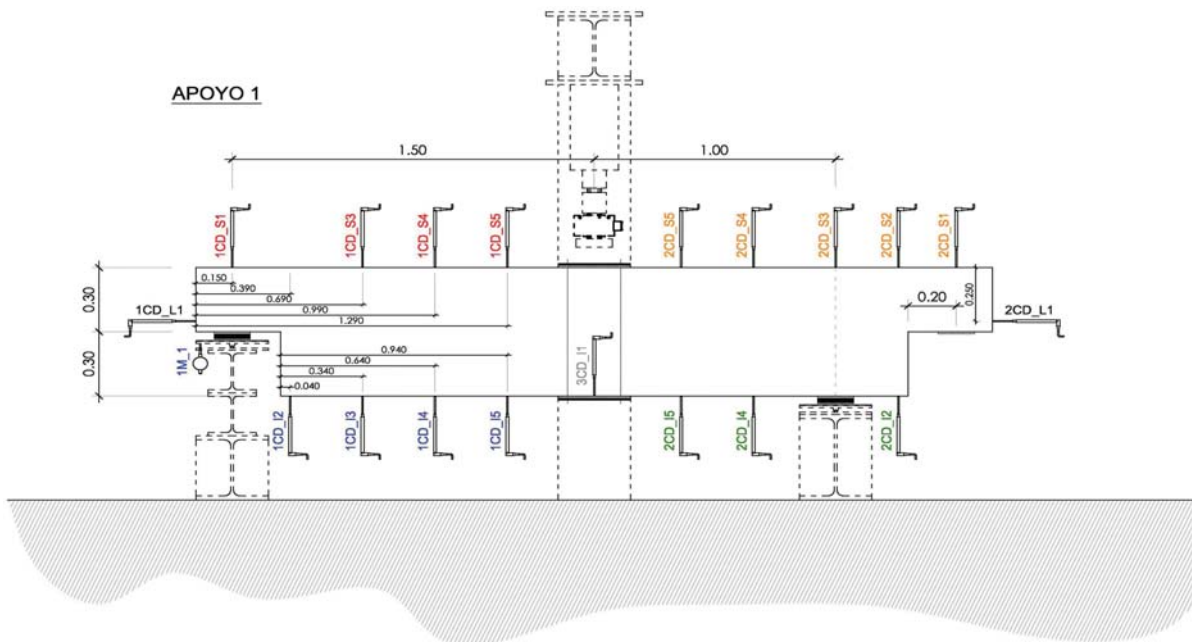
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



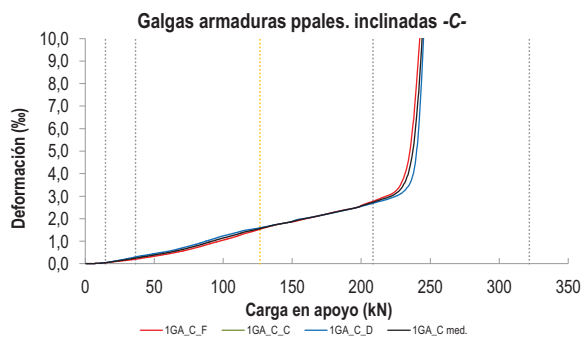
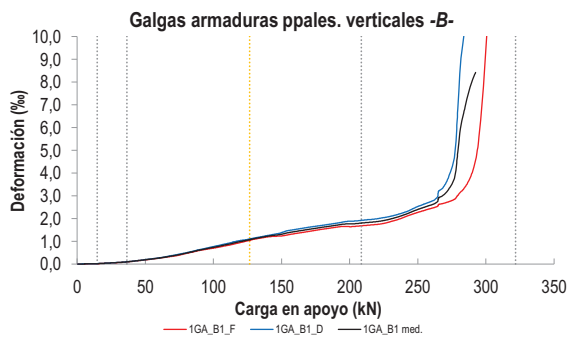
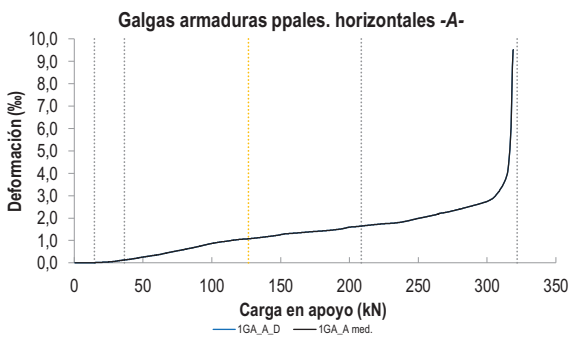
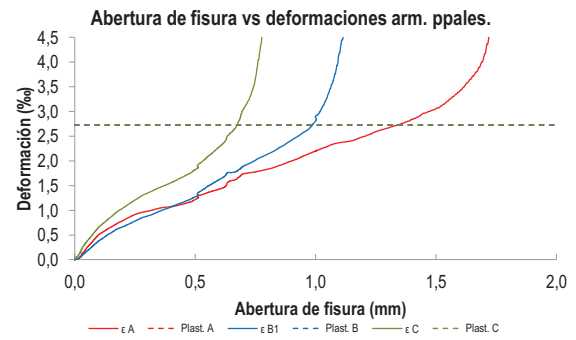
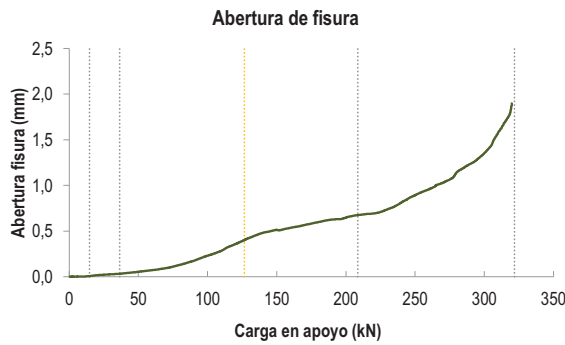
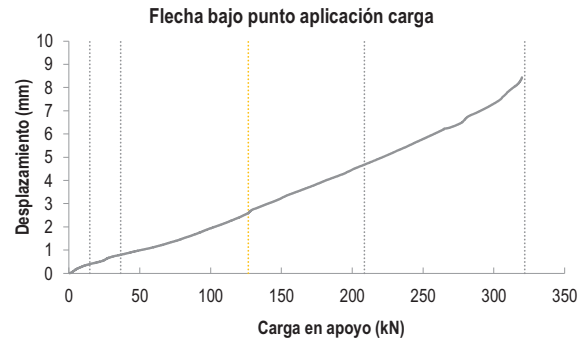
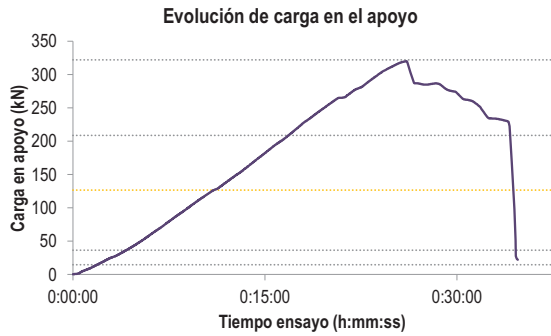
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 21.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

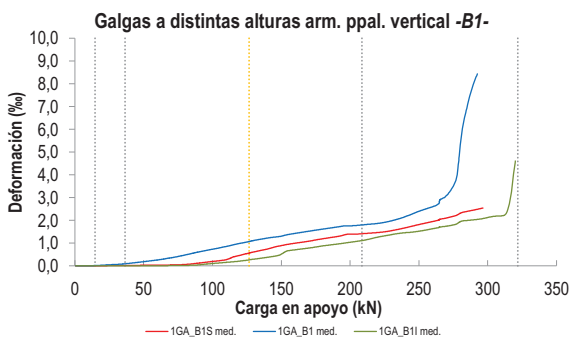
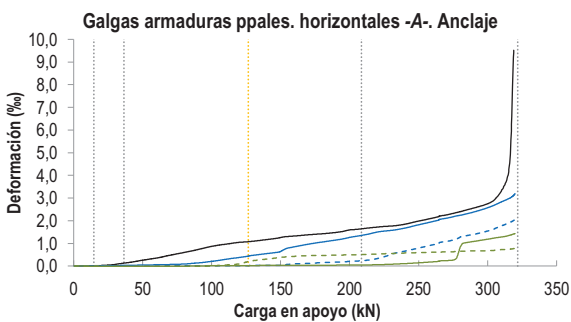
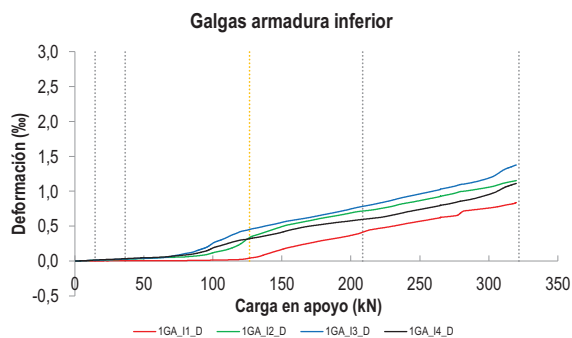
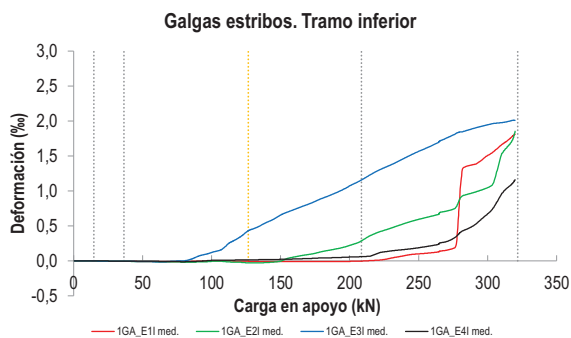
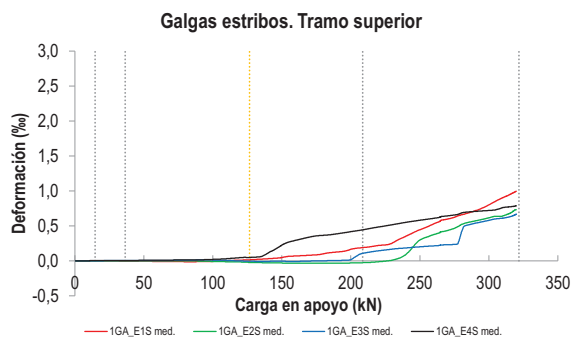
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-2.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 21.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
16,09	5%	0,00	0,42	0,02	0,02	-	-	0,06
32,18	10%	0,03	0,74	0,10	0,07	-	-	0,21
48,27	15%	0,05	0,97	0,24	0,17	-	-	0,37
64,36	20%	0,08	1,20	0,41	0,30	-	-	0,55
80,46	25%	0,13	1,50	0,61	0,49	-	-	0,79
96,55	30%	0,21	1,86	0,82	0,69	-	-	1,08
112,64	35%	0,31	2,22	0,99	0,89	-	-	1,36
128,73	40%	0,41	2,68	1,09	1,10	-	-	1,59
144,82	45%	0,50	3,10	1,21	1,26	-	-	1,81
160,91	50%	0,54	3,51	1,33	1,44	-	-	2,02
177,00	55%	0,59	3,89	1,41	1,59	-	-	2,23
193,09	60%	0,63	4,27	1,51	1,73	-	-	2,45
209,18	65%	0,68	4,69	1,65	1,80	-	-	2,74
225,27	70%	0,71	5,10	1,75	1,92	-	-	3,15
241,37	75%	0,82	5,54	1,87	2,20	-	-	7,86
257,46	80%	0,94	5,99	2,08	2,55	-	-	15,85
273,55	85%	1,06	6,41	2,31	3,55	-	-	-
289,64	90%	1,24	6,98	2,56	7,69	-	-	-
305,73	95%	1,48	7,60	3,05	-	-	-	-
321,82	100%	1,78	8,25	6,87	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

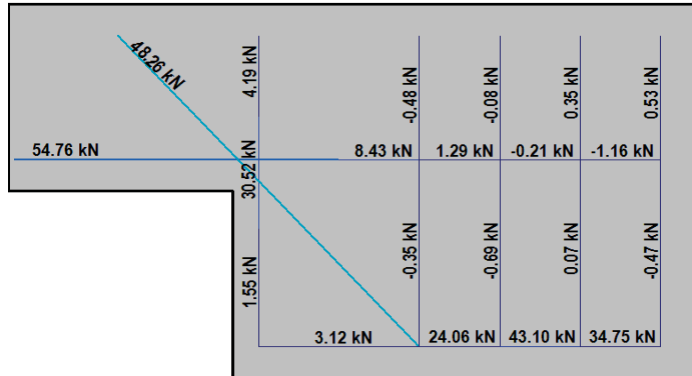
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	14,70	4,6%	0,00	0,40	0,01	0,02	-	-	0,05
Punto de cambio de rigidez	36,50	11,3%	0,03	0,80	0,13	0,10	-	-	0,25
Abertura de fisura 0,20 mm	94,44	29,3%	0,20	1,81	0,79	0,67	-	-	1,05
Abertura de fisura 0,40 mm	126,61	39,3%	0,40	2,62	1,08	1,07	-	-	1,57
Abertura de fisura 0,60 mm	182,63	56,7%	0,60	4,03	1,44	1,64	-	-	2,31
Abertura de fisura 0,80 mm	237,49	73,8%	0,80	5,43	1,82	2,11	-	-	5,30
Primera plastificación	208,59	64,8%	0,67	4,68	1,64	1,80	-	-	2,73

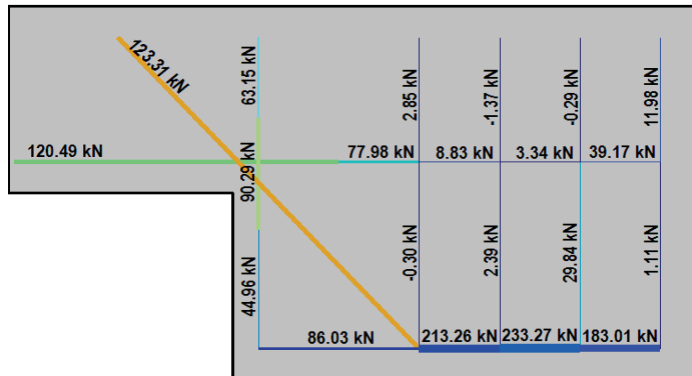
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

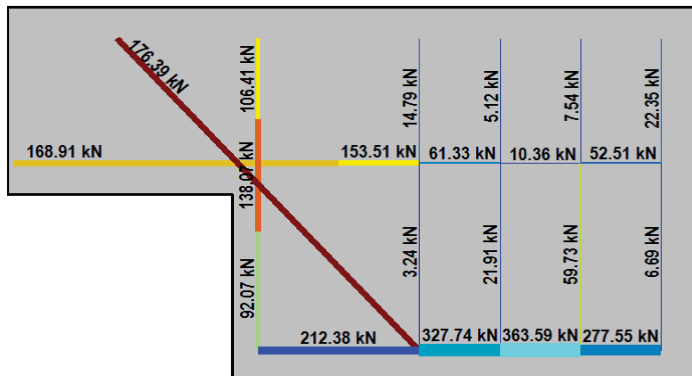
V (kN): 80,46
 V/V_{última}: **25%**
 w (mm): 0,13



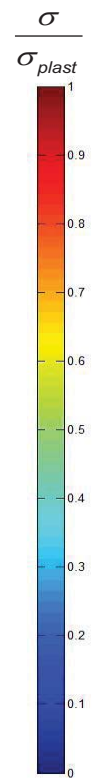
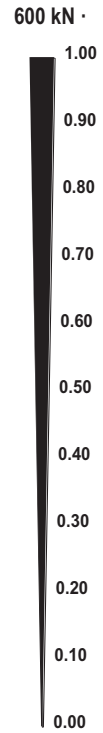
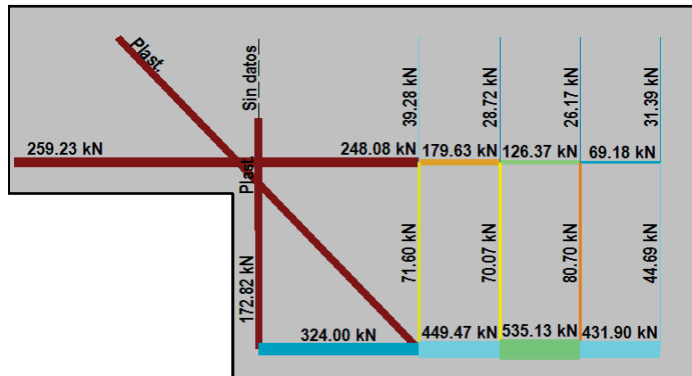
V (kN): 160,91
 V/V_{última}: **50%**
 w (mm): 0,54



V (kN): 241,37
 V/V_{última}: **75%**
 w (mm): 0,82



V (kN): 321,82
 V/V_{última}: **100%**
 w (mm): 1,78



 		 		FICHA: 21.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

VISTA APOYO. CARGA MÁXIMA



VISTA APOYO. INSTANTE POSTERIOR A CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







HORMIGÓN DESPRENDIDO EN EXTERIOR ZONA DE CONFINAM.



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento. También se desconcha el apoyo intermedio.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°. Al llegar al tirante vertical se divide en fisuras de abertura más reducida.
 - La fisura horizontal a la altura de la armadura superior de la viga se abre súbitamente al alcanzar la carga máxima. En la fase post-pico la fisura más destacada es la que parte de entre la esquina y el borde del neopreno.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales. Lo hace bastante antes el tirante inclinado, después el tirante vertical, y por último, ya cerca de la carga máxima, plastifica el tirante horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: El fallo bajo la carga máxima se produce por desprendimiento del recubrimiento superior de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al saltar el recubrimiento la carga baja un 12% y se estabiliza en ella. Al seguir deformando la pieza va cayendo la carga, hasta que al perder el 35% se produce un colapso súbito debido a un fallo por cortante (véanse fotografías).

H.22 DEB-2.2 (T2)

	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA			FICHA: 22.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 22/12/2010
 Edad (días): 54

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

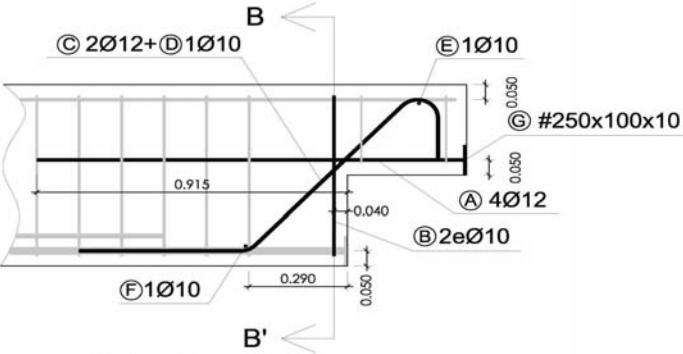
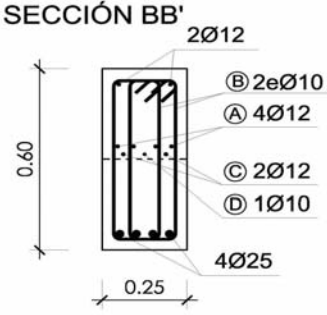
V última (kN): 329,76
 V (w=0,4 mm) (kN): 138,13 42%
 Modo de fallo: SY (D+V+H)

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ12	Armado: 4φ10	Armado: 2φ12+1φ10
Área (cm ²): 4,52	Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 3,05
α: 56%	β: 58%	γ: 51%
Rec. mecán. (mm): 40		
Variante 1: - Variante 2: -		
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras
33,3	2,98	0,00%
		f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
		- -

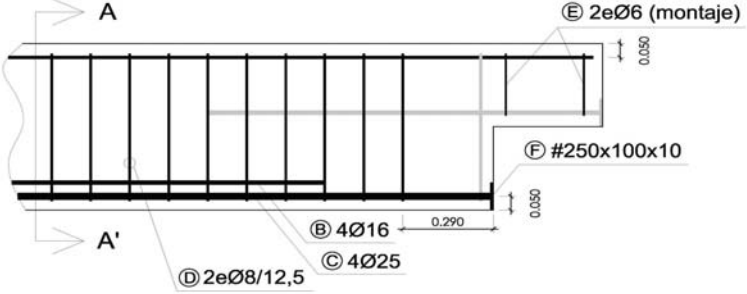
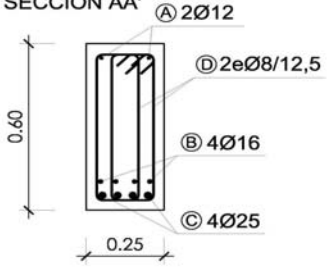
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

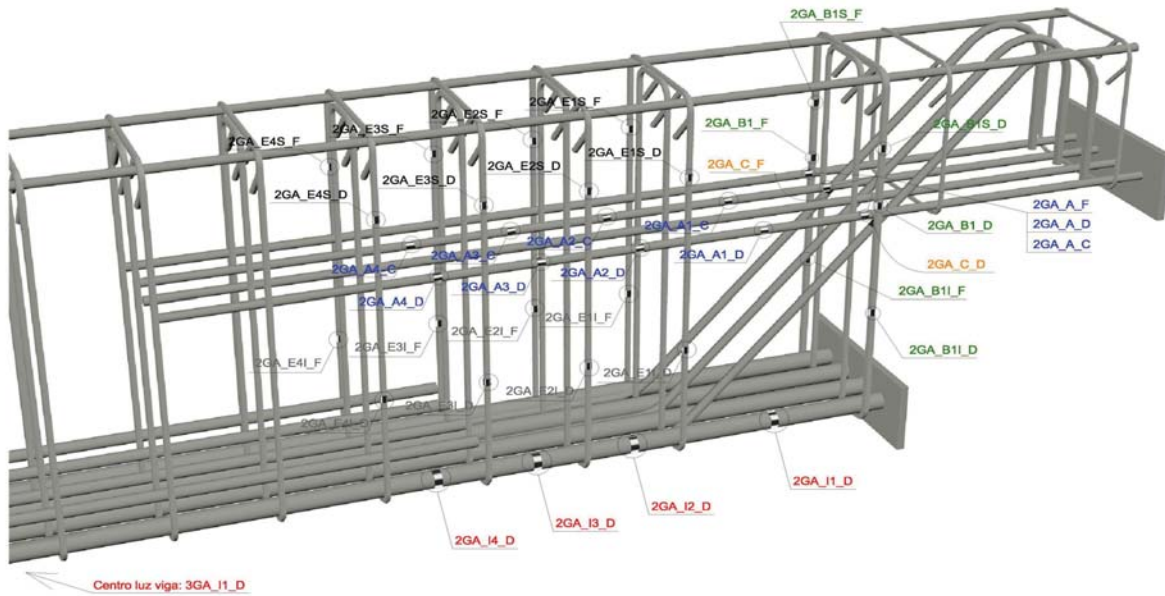
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

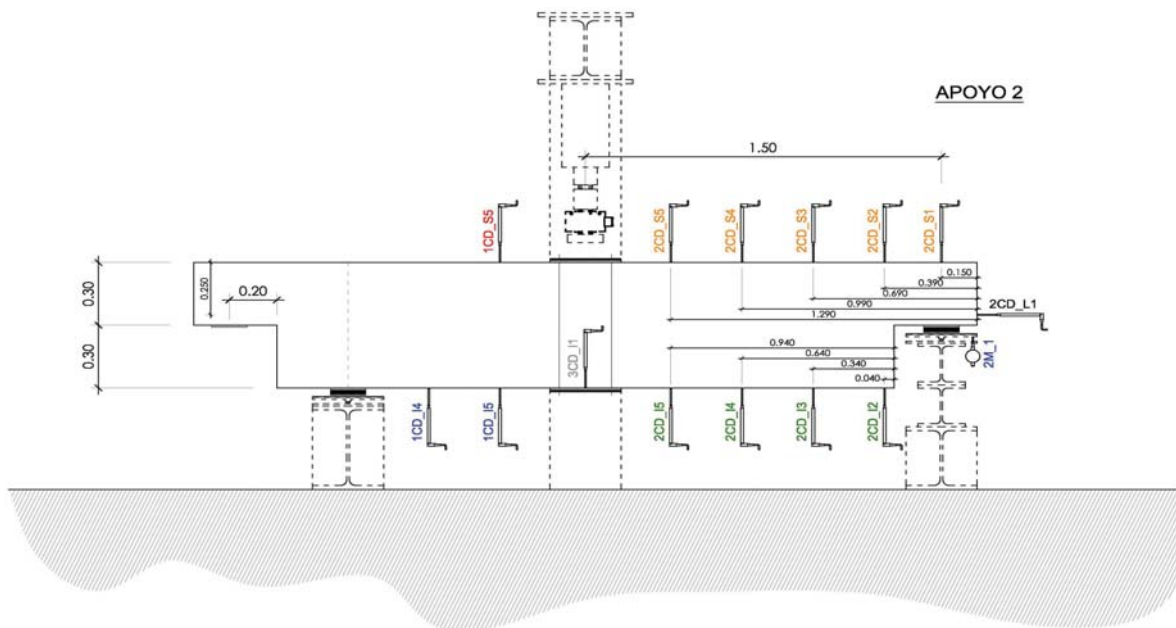
ENSAYO: **DEB-2.2 (T2)**

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



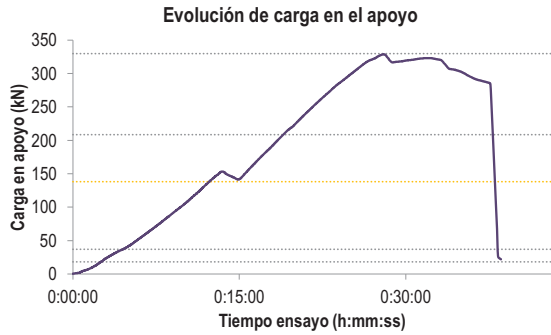
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



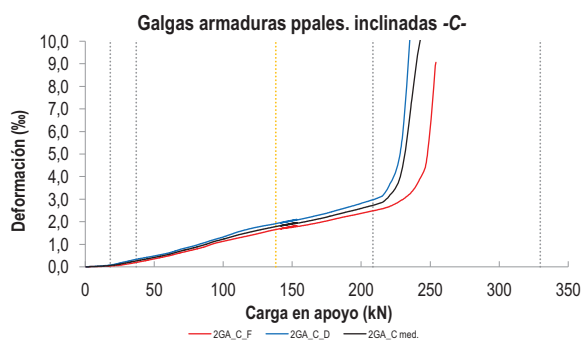
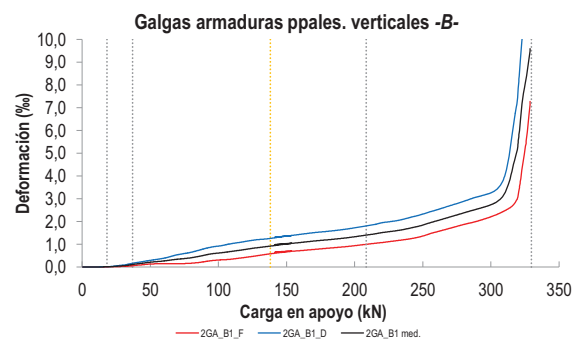
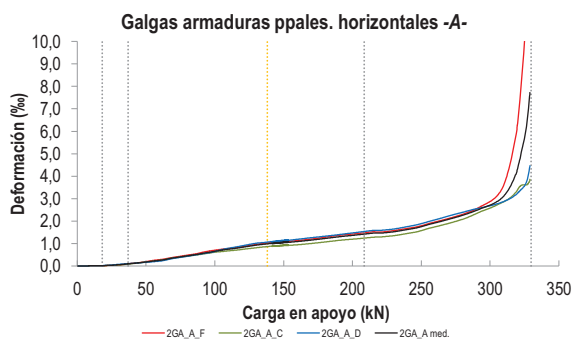
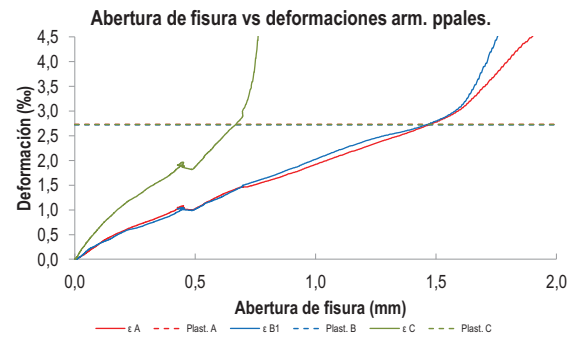
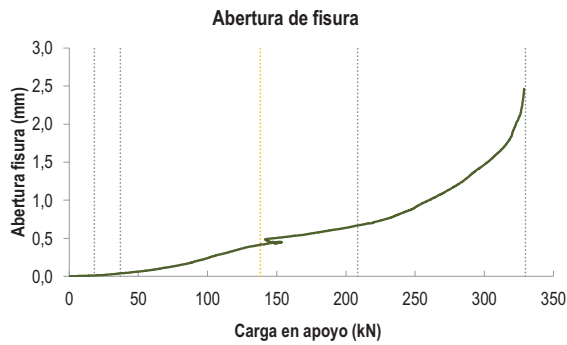
   		FICHA: 22.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

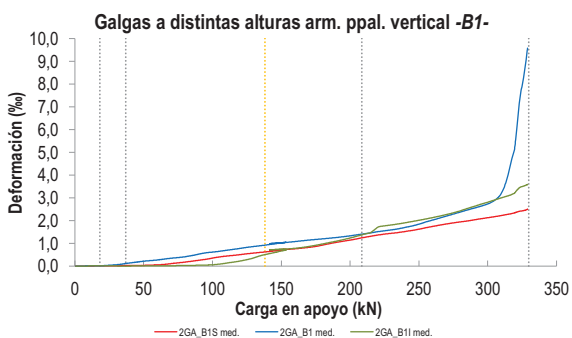
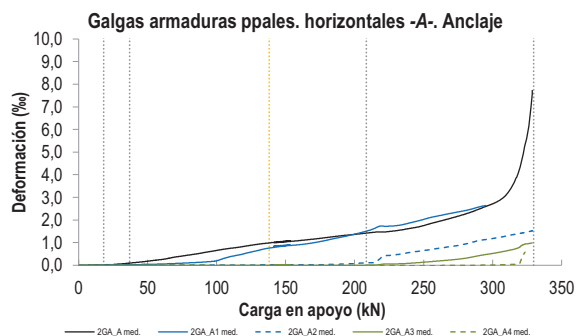
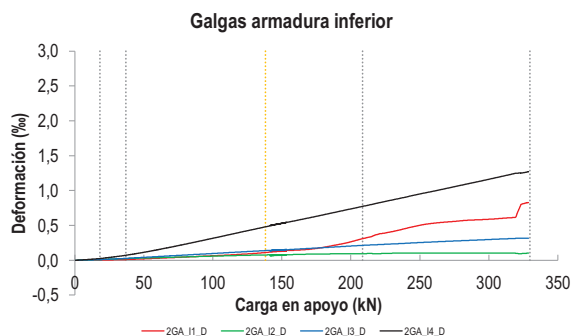
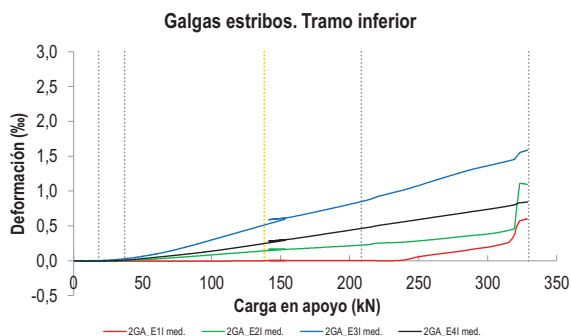
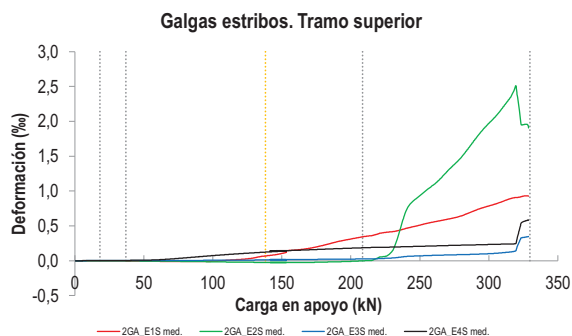


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE CAPTADOR DE DESPLAZAMIENTO SOBRE EL APOYO CONTRARIO AL ENSAYADO. NO PUEDE OBTENERSE LA FLECHA



PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-2.2 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 22.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.2 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
16,49	5%	0,00	-	0,02	0,01	-	-	0,05
32,98	10%	0,03	-	0,07	0,08	-	-	0,21
49,46	15%	0,06	-	0,17	0,21	-	-	0,41
65,95	20%	0,10	-	0,32	0,32	-	-	0,64
82,44	25%	0,16	-	0,47	0,43	-	-	0,90
98,93	30%	0,23	-	0,64	0,61	-	-	1,21
115,42	35%	0,32	-	0,79	0,74	-	-	1,48
131,91	40%	0,39	-	0,94	0,88	-	-	1,71
148,39	45%	0,46	-	1,04	1,01	-	-	1,90
164,88	50%	0,54	-	1,12	1,11	-	-	2,07
181,37	55%	0,58	-	1,24	1,21	-	-	2,31
197,86	60%	0,63	-	1,35	1,31	-	-	2,56
214,35	65%	0,69	-	1,46	1,46	-	-	2,86
230,83	70%	0,77	-	1,53	1,60	-	-	4,90
247,32	75%	0,88	-	1,71	1,80	-	-	11,01
263,81	80%	1,03	-	1,98	2,09	-	-	-
280,30	85%	1,20	-	2,27	2,39	-	-	-
296,79	90%	1,42	-	2,64	2,67	-	-	-
313,28	95%	1,70	-	3,50	3,92	-	-	-
329,76	100%	2,21	-	6,42	8,56	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,20	5,5%	0,00	-	0,02	0,01	-	-	0,06
Punto de cambio de rigidez	37,00	11,2%	0,04	-	0,09	0,11	-	-	0,26
Abertura de fisura 0,20 mm	92,40	28,0%	0,20	-	0,58	0,56	-	-	1,10
Abertura de fisura 0,40 mm	138,13	41,9%	0,40	-	0,99	0,92	-	-	1,78
Abertura de fisura 0,60 mm	186,67	56,6%	0,60	-	1,28	1,24	-	-	2,39
Abertura de fisura 0,80 mm	235,01	71,3%	0,80	-	1,57	1,64	-	-	6,57
Primera plastificación	208,51	63,2%	0,67	-	1,42	1,40	-	-	2,73

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **22.6**

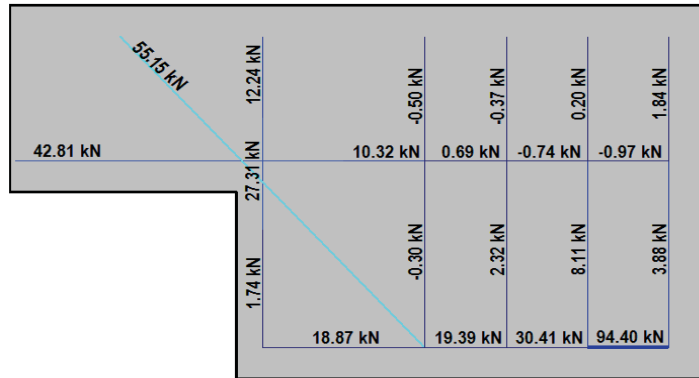
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1

ENSAYO: **DEB-2.2 (T2)**

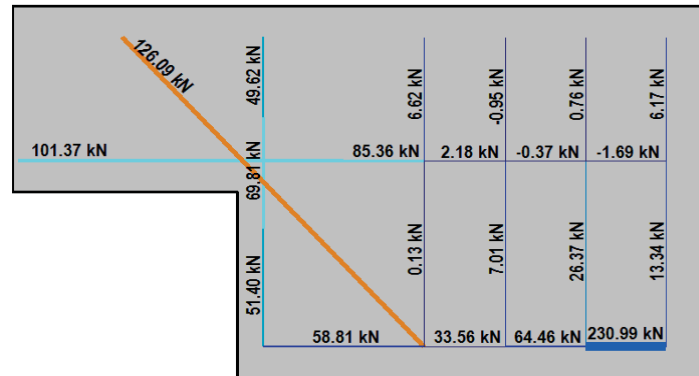
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

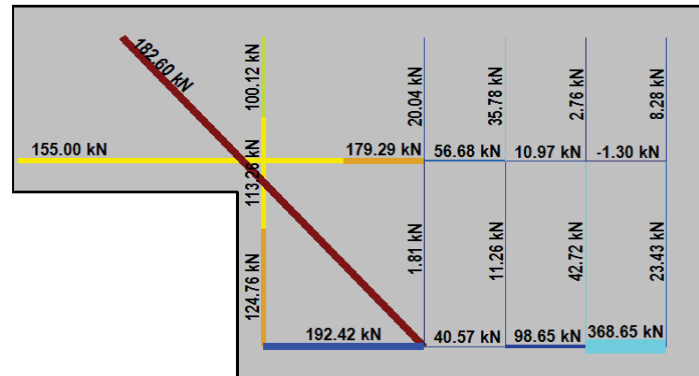
V (kN): 82,44
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,16



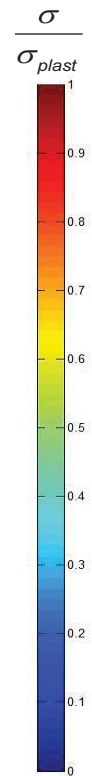
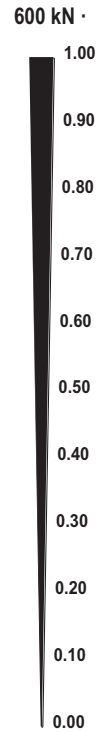
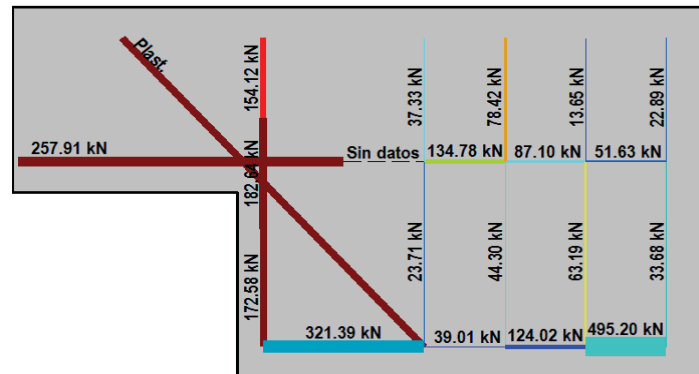
V (kN): 164,88
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,54







V (kN): 247,32
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,88




V (kN): 329,76
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,21



 		 		FICHA: 22.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.2 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA




VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







VISTA DORSAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: En el apoyo intermedio había un desconchamiento del ensayo del otro apoyo, pero parece no influir en la resistencia de la pieza. Se observa además un elevado deslizamiento de la probeta, que hace que el apoyo ensayado gire de manera contraria a la esperada.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con el tirante vertical se difunde en varias y se verticaliza para juntarse con la fisura que se describe a continuación.
 - Ya bajo la carga máxima es apreciable una fisura entre la esquina y el borde del neopreno. La fisura se abre muy apreciablemente durante la fase post-pico.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales. Lo hace mucho antes el tirante inclinado, y ya cerca de la carga máxima plastifican simultáneamente los tirantes que componen el esquema de armado otogonal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura horizontal que parte de la placa de anclaje de la armadura horizontal y que se abre produciendo el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzarse la carga máxima se pierde rápidamente el 4% de la carga. Llegados a ese punto la carga se estabiliza o incluso aumenta durante un período apreciable, para a continuación descender de manera apreciable.

H.23 DEB-2.3 (T1)

				FICHA: 23.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.3 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/D.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-		
Armado: 3φ12	Armado: 2φ12	Armado: 2φ12		
Área (cm ²): 3,39	Área (cm ²): 2,26	Área (cm ²): 2,26		
α: 60%	β: 61%	γ: 47%		
Rec. mecán. (mm): 40				
Variante 1: - Variante 2: -				
f_c (Mpa)	f_{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	$f_{1,R}$ (Mpa)	$f_{3,R}$ (Mpa)
33,3	2,98	0,00%	-	-

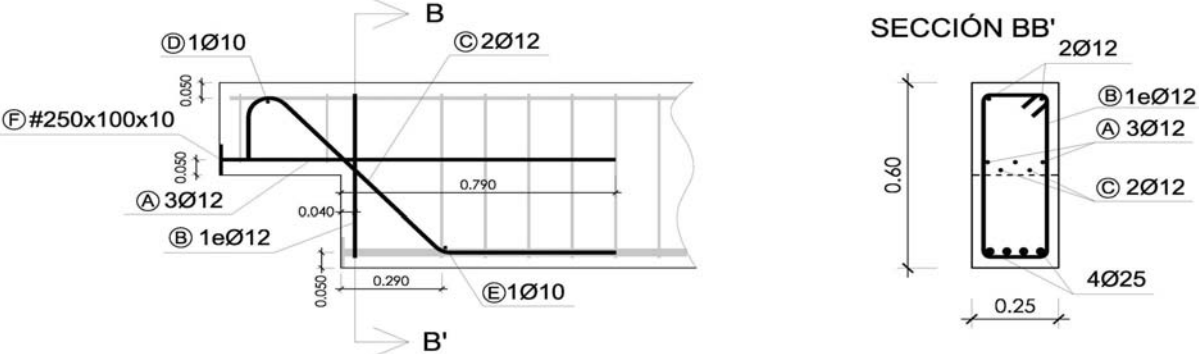
Codificación: p71/D.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 16/12/2010
 Edad (días): 48

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 240,49
 V (w=0,4 mm) (kN): 107,98 45%
 Modo de fallo: SY+SP (D-H-V)

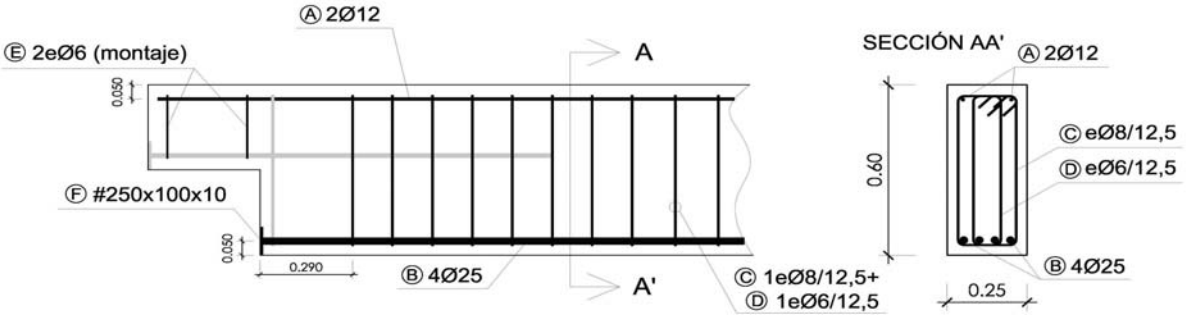
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

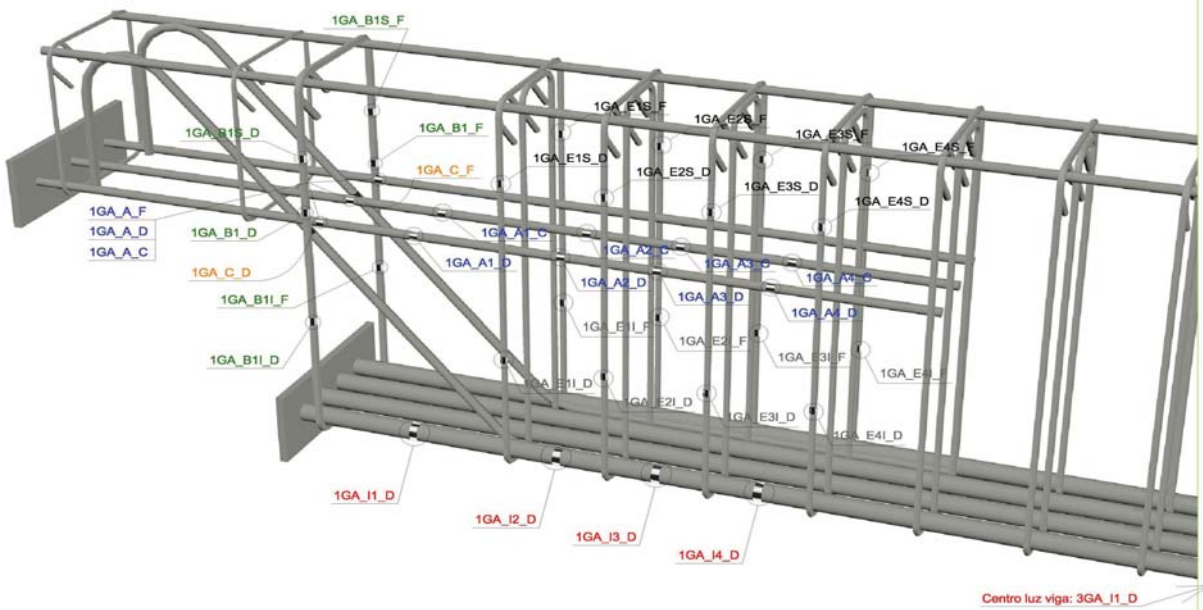
B2.- ARMADO DE LA VIGA



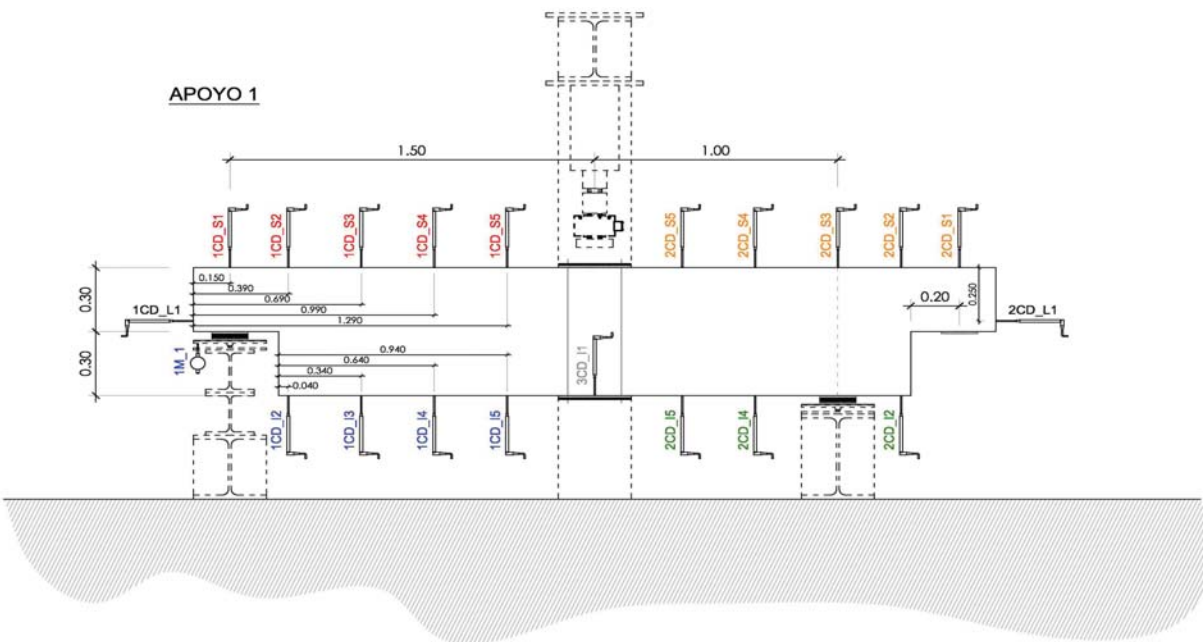
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



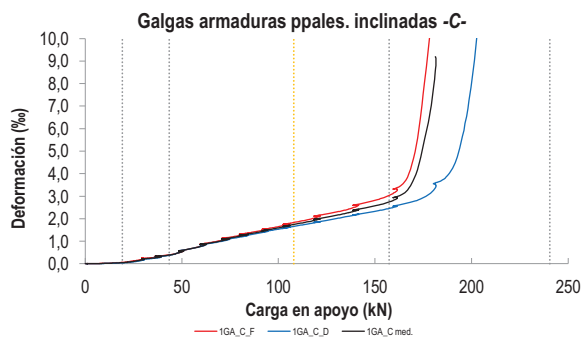
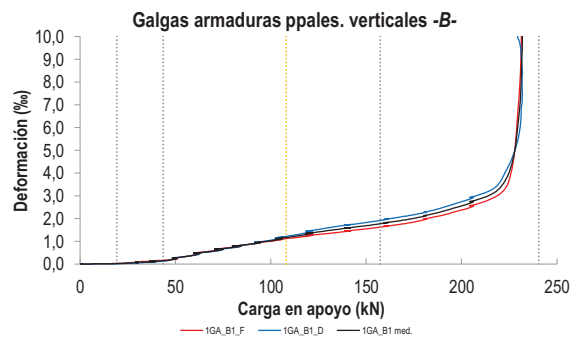
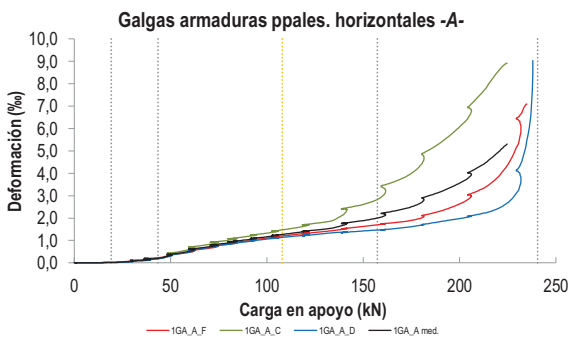
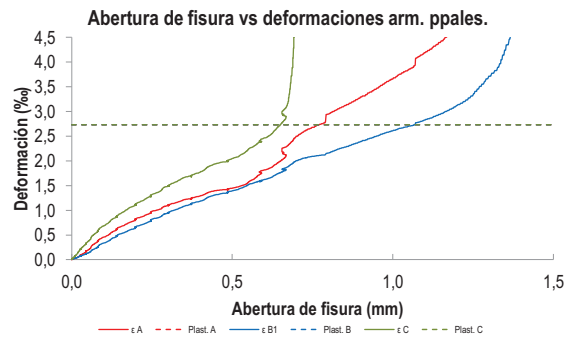
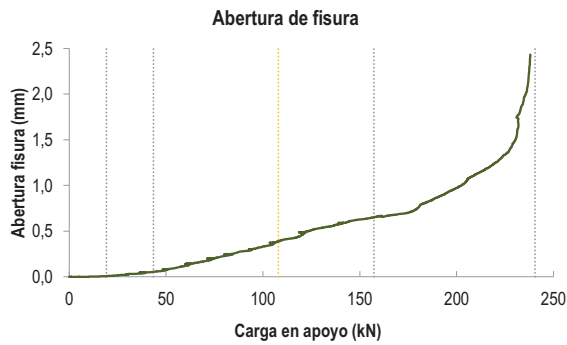
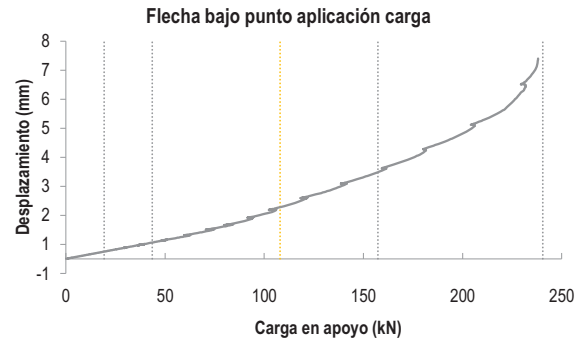
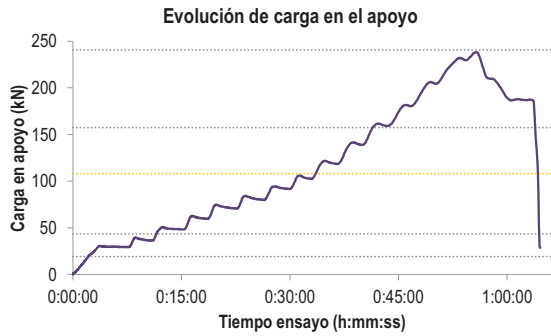
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 23.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.3 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

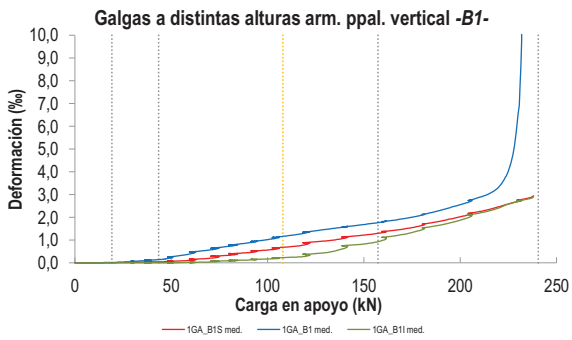
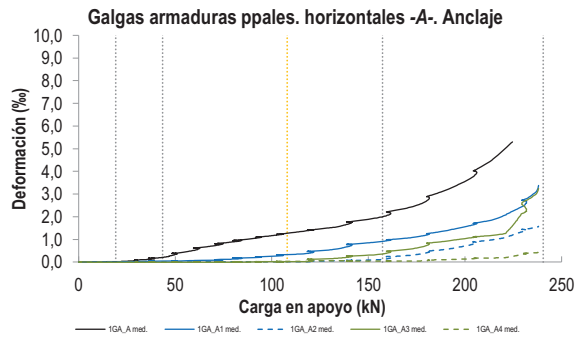
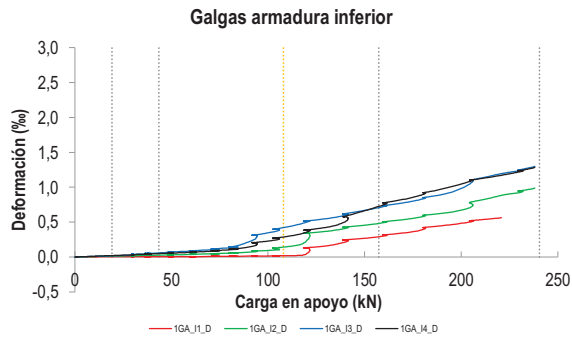
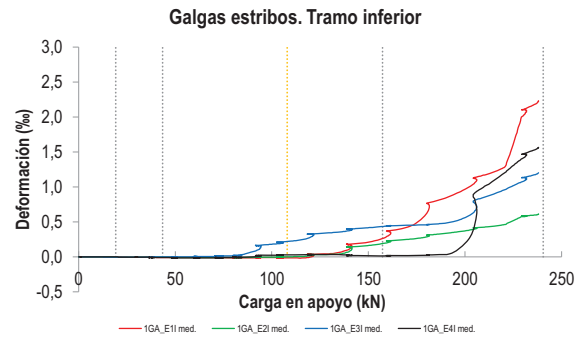
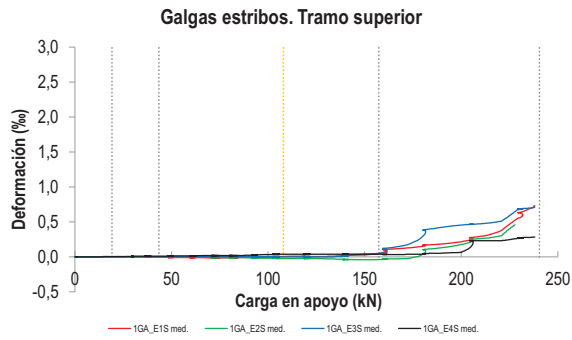
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-2.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/D.1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 23.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
12,02	5%	0,00	0,15	0,01	0,01	-	-	0,02
24,05	10%	0,00	0,31	0,03	0,03	-	-	0,09
36,07	15%	0,04	0,47	0,16	0,11	-	-	0,32
48,10	20%	0,08	0,63	0,37	0,26	-	-	0,57
60,12	25%	0,14	0,80	0,61	0,48	-	-	0,86
72,15	30%	0,20	1,00	0,81	0,65	-	-	1,10
84,17	35%	0,25	1,19	0,96	0,80	-	-	1,30
96,19	40%	0,30	1,45	1,11	0,96	-	-	1,51
108,22	45%	0,39	1,78	1,27	1,17	-	-	1,75
120,24	50%	0,48	2,09	1,41	1,35	-	-	1,98
132,27	55%	0,54	2,35	1,54	1,50	-	-	2,20
144,29	60%	0,60	2,66	1,80	1,61	-	-	2,44
156,32	65%	0,65	3,04	2,10	1,79	-	-	2,84
168,34	70%	0,68	3,32	2,36	1,91	-	-	3,52
180,36	75%	0,77	3,74	2,82	2,12	-	-	8,07
192,39	80%	0,89	4,08	3,27	2,38	-	-	-
204,41	85%	1,04	4,57	3,94	2,72	-	-	-
216,44	90%	1,20	4,96	4,68	3,12	-	-	-
228,46	95%	1,55	5,86	5,29	8,19	-	-	-
240,49	100%	2,23	6,65	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

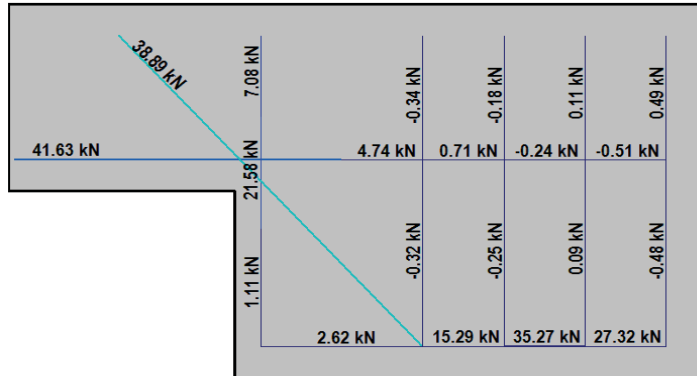
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	19,24	8,0%	0,00	0,25	0,02	0,02	-	-	0,05
Punto de cambio de rigidez	43,50	18,1%	0,05	0,56	0,21	0,14	-	-	0,38
Abertura de fisura 0,20 mm	73,35	30,5%	0,20	1,01	0,81	0,65	-	-	1,11
Abertura de fisura 0,40 mm	107,98	44,9%	0,40	1,74	1,25	1,14	-	-	1,72
Abertura de fisura 0,60 mm	147,22	61,2%	0,60	2,75	1,85	1,66	-	-	2,52
Abertura de fisura 0,80 mm	183,51	76,3%	0,80	3,78	2,88	2,15	-	-	8,64
Primera plastificación	157,32	65,4%	0,65	3,08	2,14	1,80	-	-	2,88

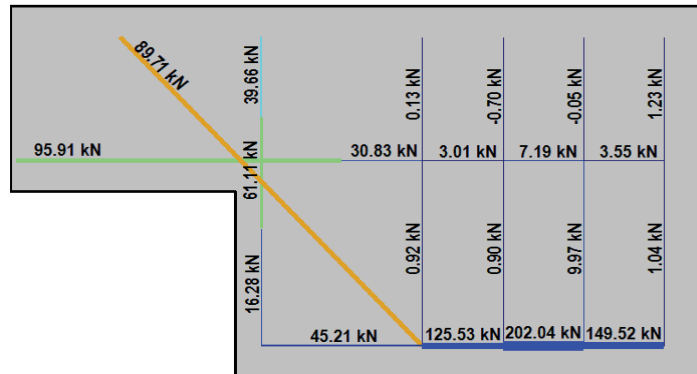
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

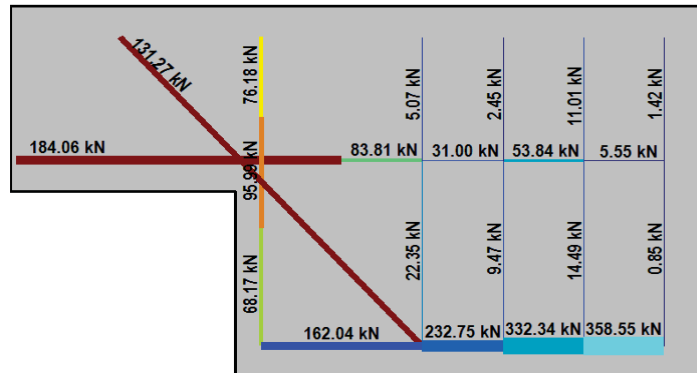
V (kN): 60,12
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,14



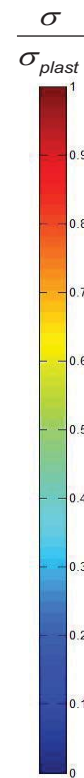
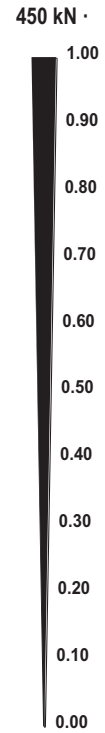
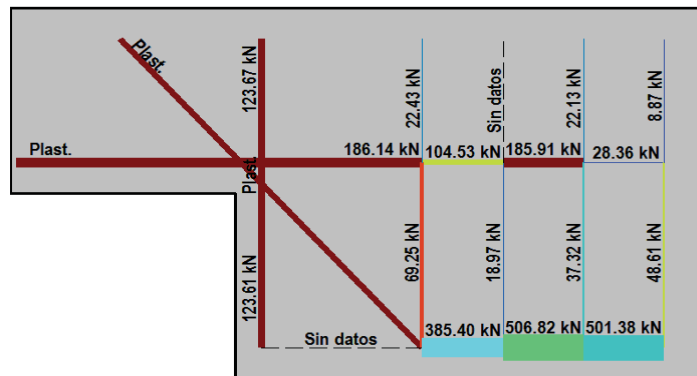
V (kN): 120,24
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,48







V (kN): 180,36
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,77




V (kN): 240,49
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,23




 		 		FICHA: 23.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



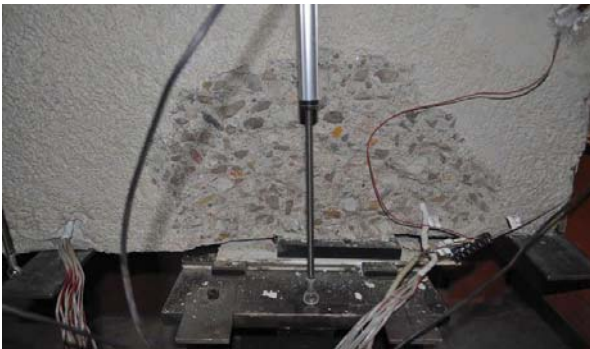
VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA







DESCONCHAMIENTO EN APOYO INTERMEDIO



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo intermedio. Las paradas en el proceso de carga son necesarias para tomar medidas de contrate de la abertura de fisura con microscopio.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, atraviesa al tirante vertical y al encontrarse con el tirante vertical se vuelve vertical durante unos 5 cm, para volver a progresar a 45° y arquearse posteriormente.
 - Durante la fase post-pico la que arranca desde el borde del neopreno, que parte a unos 60° respecto a la horizontal y que por el efecto del tirante horizontal se inclina más y atraviesa perp. a la armadura inclinada.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ inclinado - 2º/ horizontal - 3º/ vertical
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde de neopreno, al juntarse a la altura de la armadura superior con otras fisuras que parten de la placa de anclaje de la armadura horizontal, y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Una vez alcanzada la carga máxima, ésta va descendiendo de forma no brusca, hasta caer un 22% respecto de la carga máxima. En este valor se estabiliza la carga y finalmente se descarga finalmente la pieza. El levantamiento del recubrimiento no produce una caída brusca de la carga.

H.24 DEB-2.3 (T2)

				FICHA: 24.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/D.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/D.1
 Fecha horm.: 29/10/2010
 Fecha ensayo: 17/12/2010
 Edad (días): 49

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ12	Armado: 2φ12	Armado: 2φ12
Área (cm ²): 3,39	Área (cm ²): 2,26	Área (cm ²): 2,26
α: 60%	β: 61%	γ: 47%
Rec. mecán. (mm): 40		

Variante 1: -
 Variante 2: -

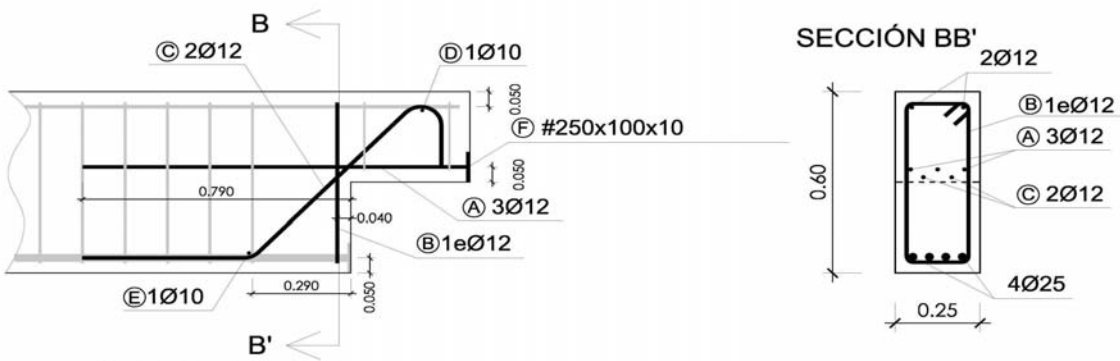
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
33,3	2,98	0,00%	- -

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 196,91
 V (w=0,4 mm) (kN): 85,87 44%
 Modo de fallo: Local (Fuera región D)

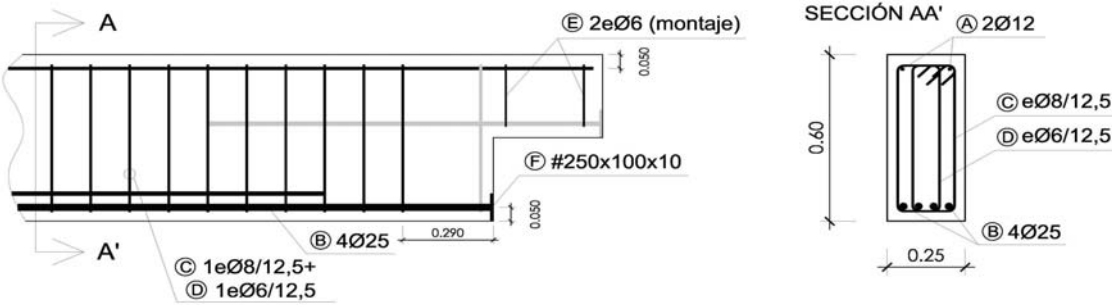
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

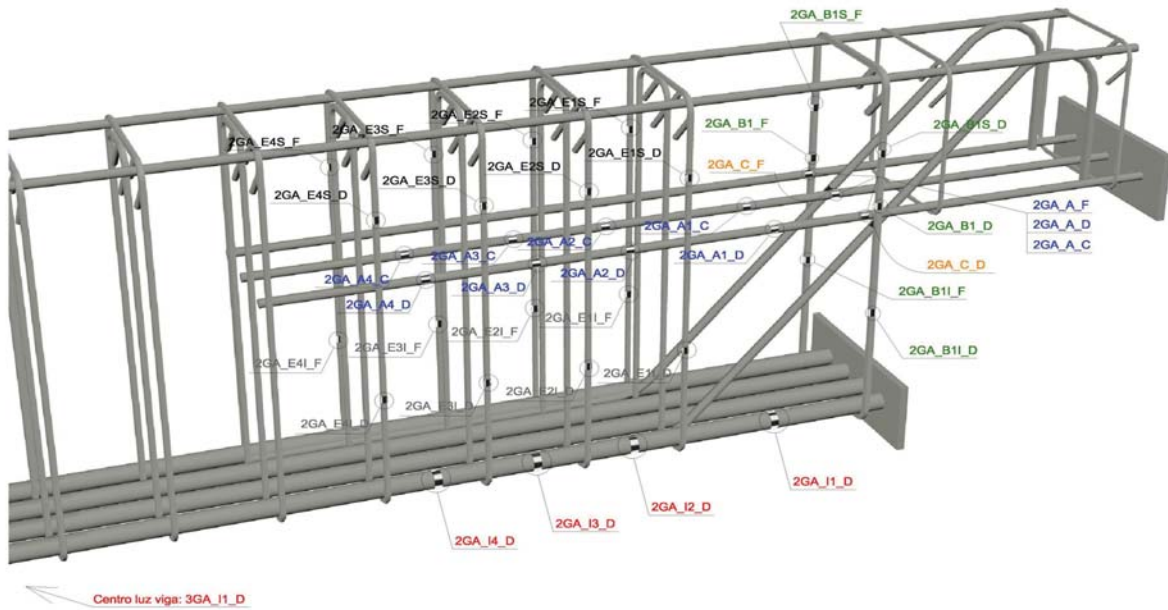
B2.- ARMADO DE LA VIGA



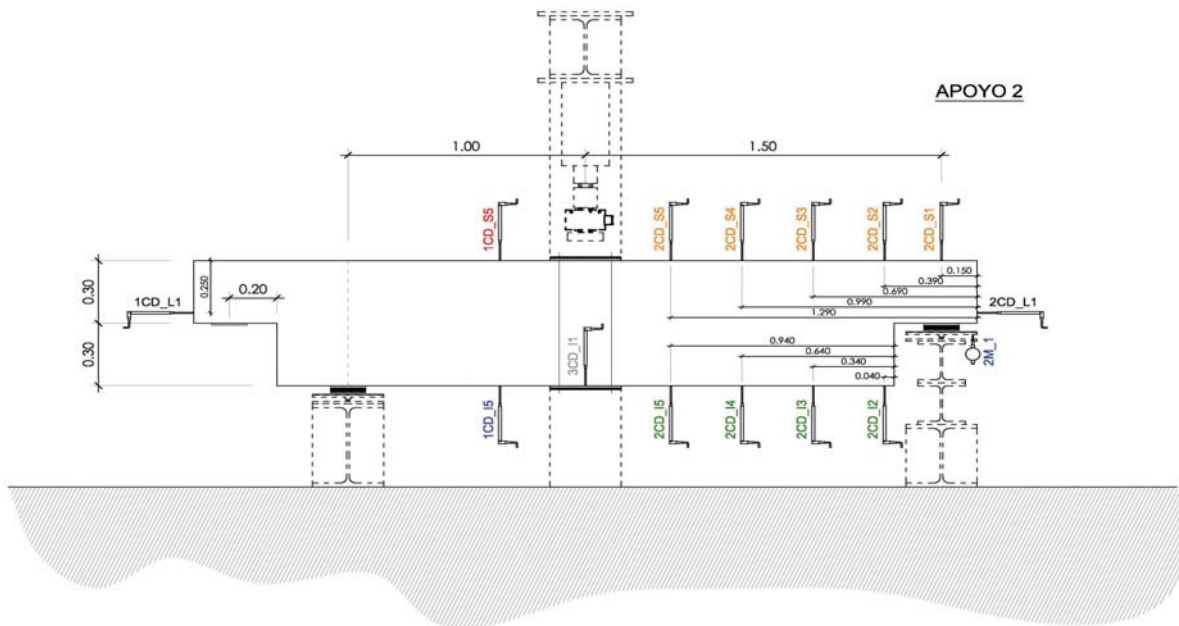
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

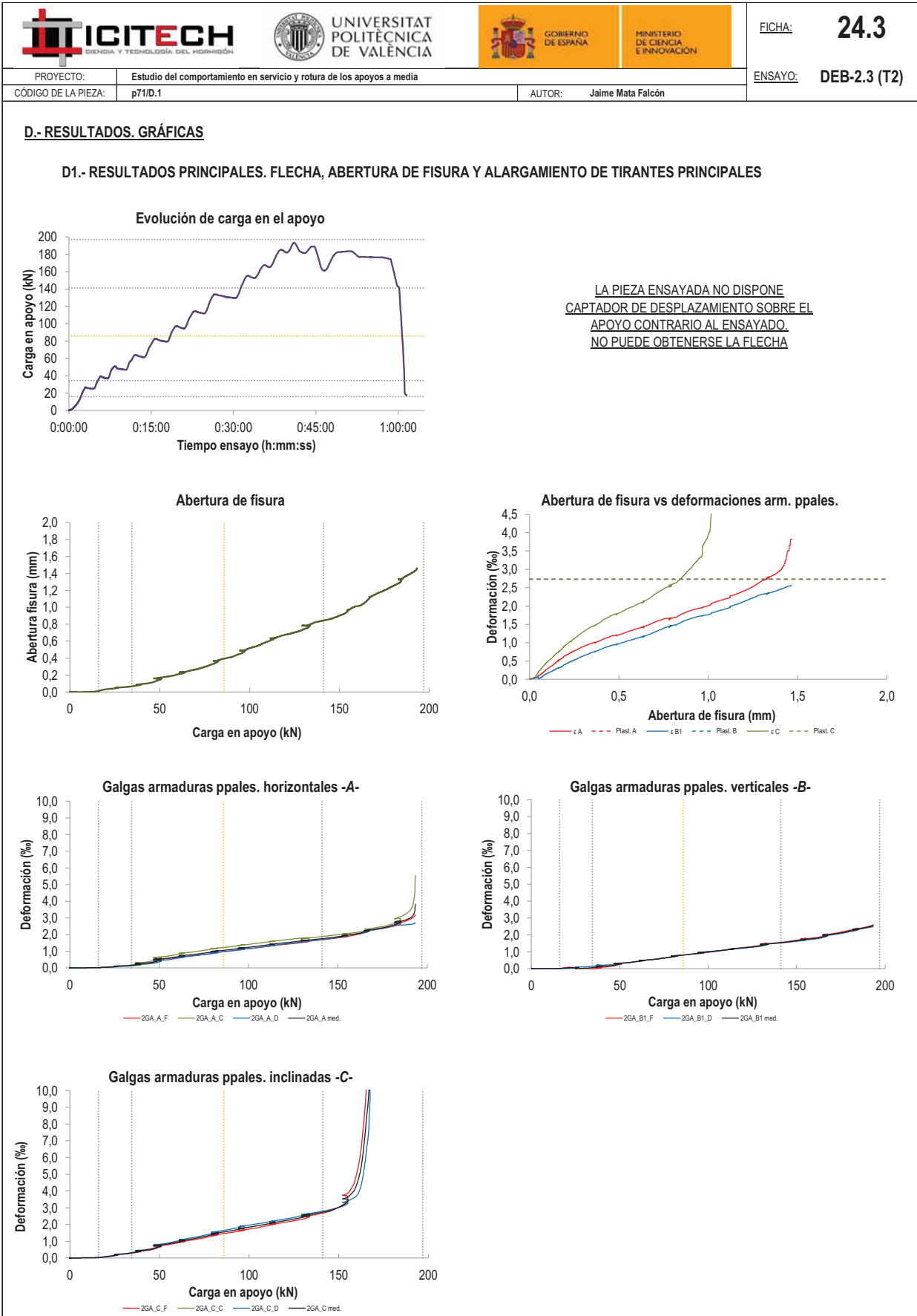
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



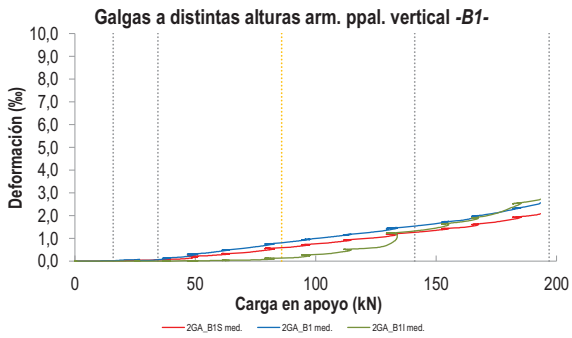
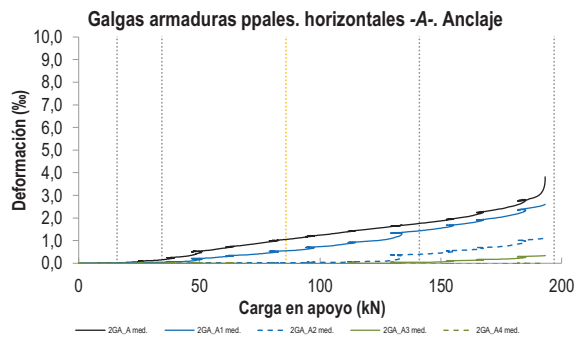
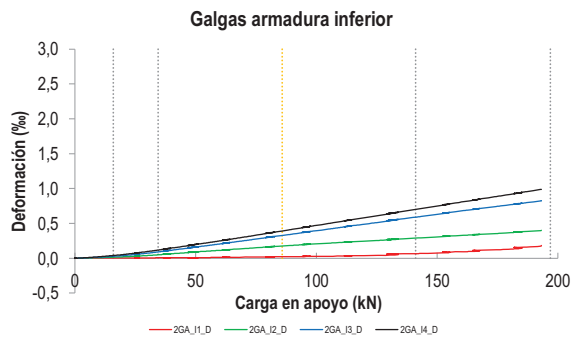
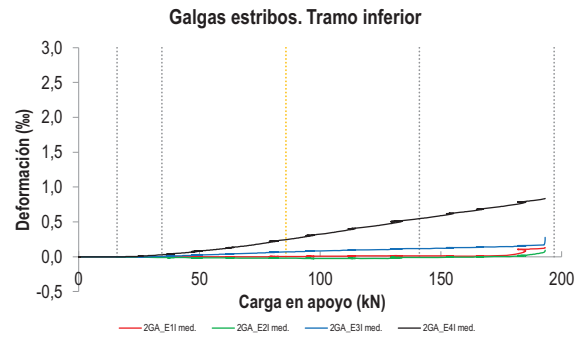
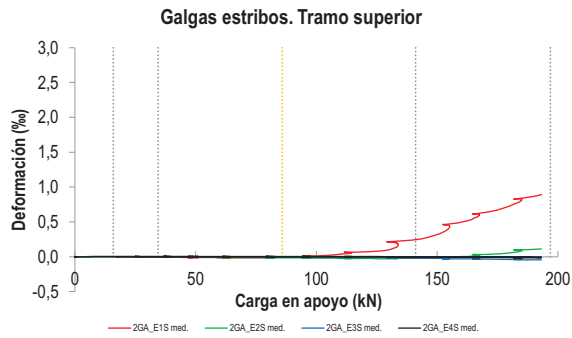
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA





   		FICHA: 24.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 24.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.3 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

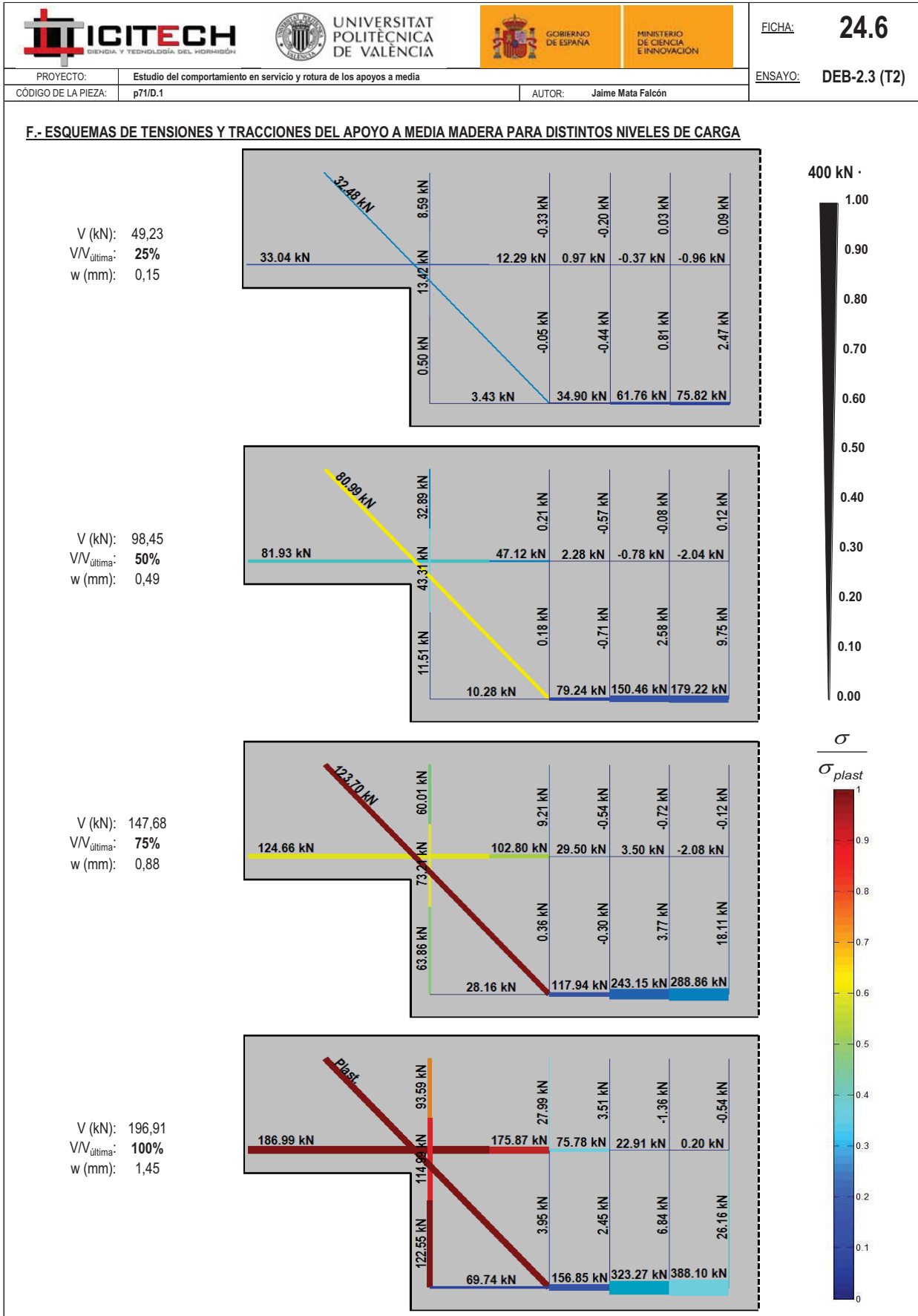
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
9,85	5%	0,00	-	0,01	0,00	-	-	0,01
19,69	10%	0,03	-	0,04	0,04	-	-	0,07
29,54	15%	0,06	-	0,11	0,03	-	-	0,24
39,38	20%	0,09	-	0,24	0,13	-	-	0,41
49,23	25%	0,15	-	0,49	0,30	-	-	0,72
59,07	30%	0,20	-	0,65	0,42	-	-	0,93
68,92	35%	0,26	-	0,80	0,55	-	-	1,15
78,76	40%	0,34	-	0,98	0,74	-	-	1,44
88,61	45%	0,41	-	1,08	0,84	-	-	1,60
98,45	50%	0,49	-	1,21	0,96	-	-	1,79
108,30	55%	0,58	-	1,35	1,09	-	-	1,99
118,15	60%	0,67	-	1,48	1,22	-	-	2,20
127,99	65%	0,74	-	1,63	1,41	-	-	2,50
137,84	70%	0,83	-	1,72	1,51	-	-	2,67
147,68	75%	0,88	-	1,84	1,62	-	-	2,93
157,53	80%	0,98	-	1,98	1,75	-	-	3,67
167,37	85%	1,11	-	2,24	1,97	-	-	12,45
177,22	90%	1,22	-	2,47	2,17	-	-	15,89
187,06	95%	1,34	-	2,80	2,36	-	-	-
196,91	100%	1,45	-	3,58	2,54	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	15,93	8,1%	0,00	-	0,02	0,02	-	-	0,03
Punto de cambio de rigidez	34,50	17,5%	0,07	-	0,15	0,06	-	-	0,30
Abertura de fisura 0,20 mm	57,91	29,4%	0,20	-	0,63	0,40	-	-	0,91
Abertura de fisura 0,40 mm	85,87	43,6%	0,40	-	1,05	0,81	-	-	1,55
Abertura de fisura 0,60 mm	111,52	56,6%	0,60	-	1,41	1,15	-	-	2,09
Abertura de fisura 0,80 mm	135,30	68,7%	0,80	-	1,67	1,47	-	-	2,57
Primera plastificación	141,11	71,7%	0,84	-	1,76	1,54	-	-	2,74

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



   		FICHA: 24.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/D.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA ÚLTIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA







LEVANTAMIENTO DEL LEVANTAM. DE RECUBRIMIENTO TRAS ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: En el ensayo del otro apoyo se produjo un desconchamiento sobre el neopreno del apoyo intermedio. En este apoyo el desconchamiento cae en el arranque del tirante inclinado y parece ser el causante de la bastante menor carga que alcanza este apoyo respecto al contrario. Las paradas en el proceso de carga son para medir la fisura con microscopio.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con el tirante vertical verticalizarse ligeramente hasta los 60° respecto a la horizontal y acabar finalmente arqueándose hasta horizontalizarse situándose de manera paralela a la armadura superior.
 - Al aproximarse a la carga de rotura aparece una fisura relevante desde el borde del neopreno, que parte a unos 60° respecto a la horizontal y que por el efecto del tirante horizontal se inclina más y atraviesa perp. a la armadura inclinada.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plast. del acero. Plástica inicialmente el tirante inclinado y cerca de rotura el horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde de neopreno, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La pieza presenta, tras alcanzar la carga máxima, un pequeño valle en la carga. Posteriormente se estabiliza la carga aproximadamente un 10% por debajo de la carga última hasta que se descarga completamente la pieza.

H.25 DEB-2.4 (T1)

				FICHA: 25.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.4 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.2
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 04/04/2011
 Edad (días): 25

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ10	Armado: 2φ12	Armado: 2φ12+1φ16
Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 2,26	Área (cm ²): 4,27
α: 39%	β: 42%	γ: 71%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

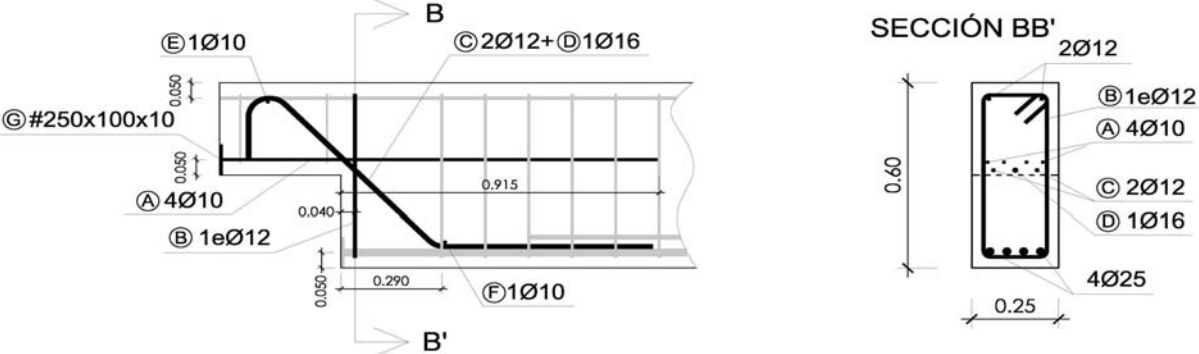
V última (kN): 311,92
 V (w=0,4 mm) (kN): 147,78 47%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
36,9	3,67	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

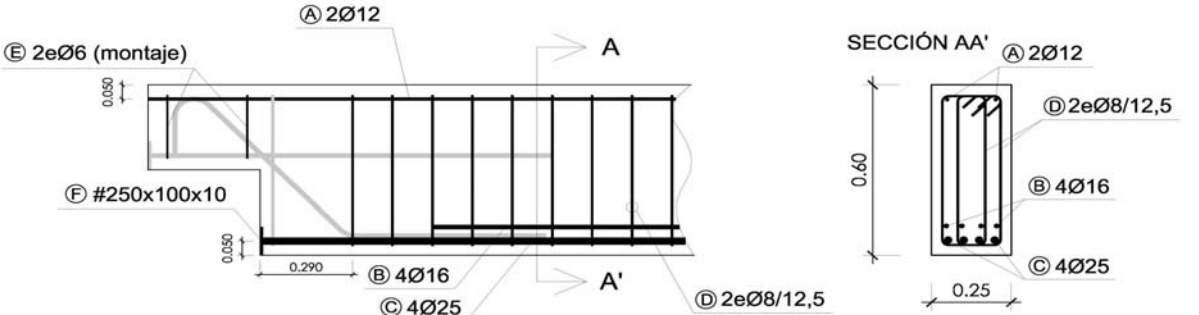
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

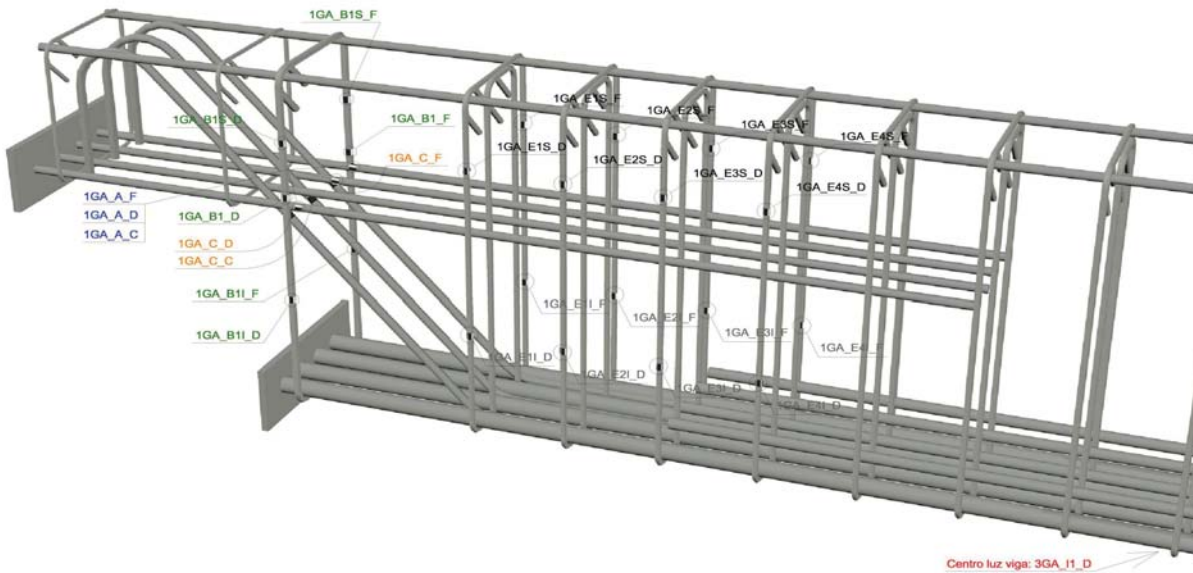
B2.- ARMADO DE LA VIGA



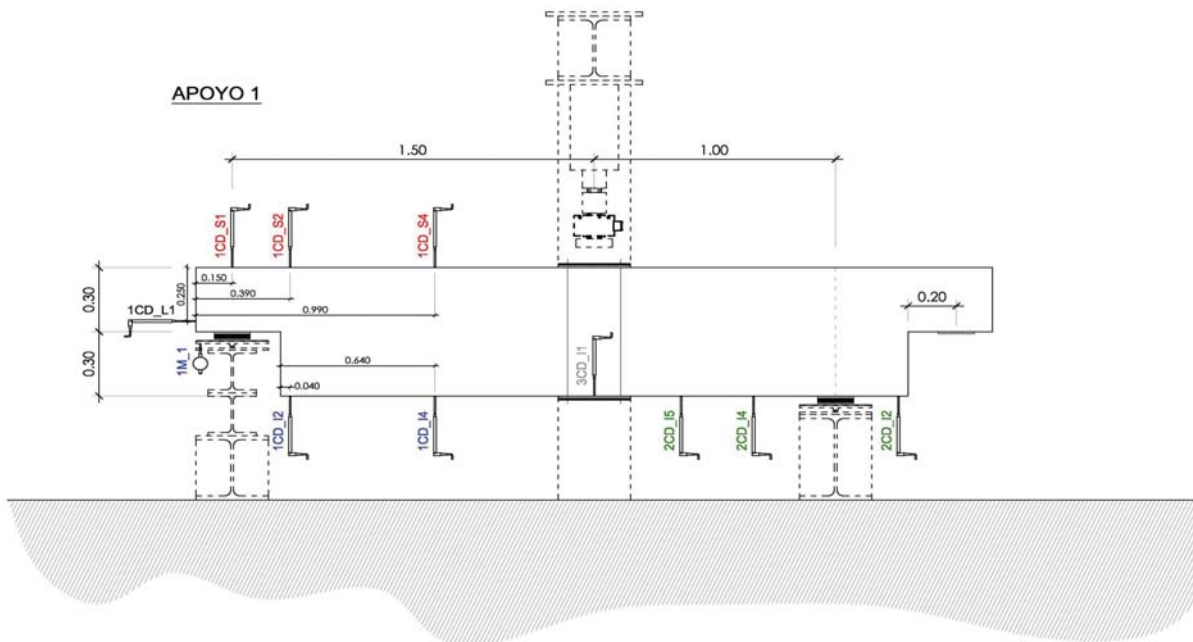
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

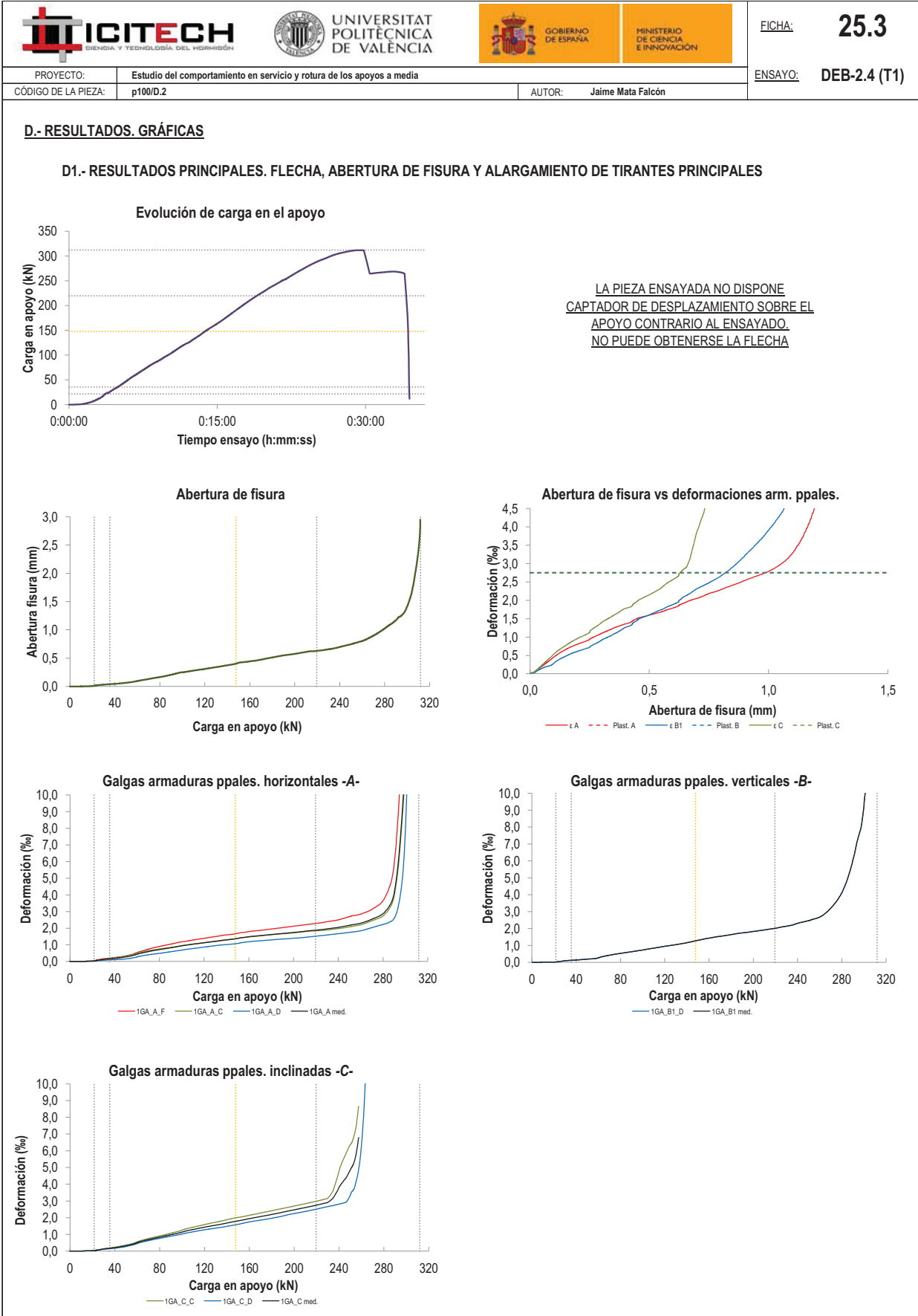
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



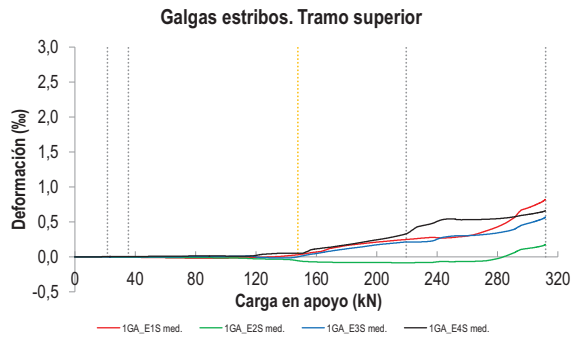
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



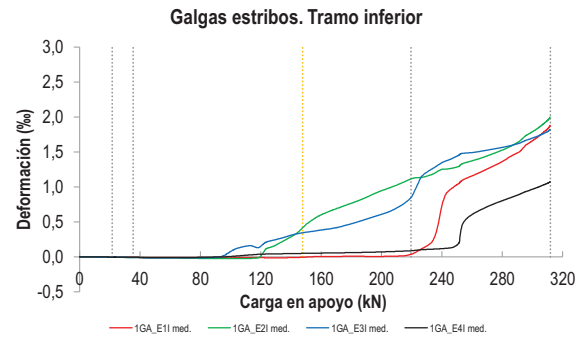


PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-2.4 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.2	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

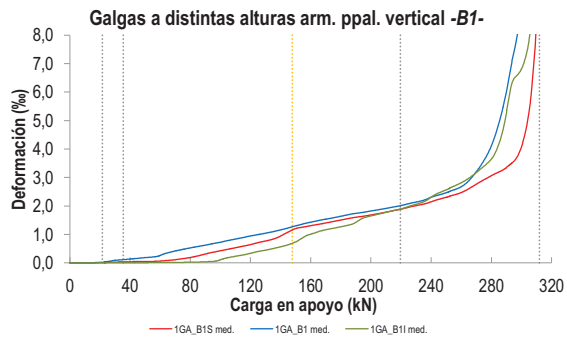
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 25.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.4 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
15,60	5%	0,00	-	0,01	0,01	-	-	0,02
31,19	10%	0,03	-	0,13	0,10	-	-	0,14
46,79	15%	0,06	-	0,24	0,17	-	-	0,28
62,38	20%	0,10	-	0,48	0,31	-	-	0,56
77,98	25%	0,16	-	0,69	0,51	-	-	0,81
93,58	30%	0,22	-	0,86	0,66	-	-	1,04
109,17	35%	0,28	-	1,03	0,83	-	-	1,29
124,77	40%	0,32	-	1,17	0,99	-	-	1,49
140,36	45%	0,37	-	1,30	1,16	-	-	1,69
155,96	50%	0,43	-	1,45	1,38	-	-	1,89
171,56	55%	0,48	-	1,56	1,55	-	-	2,09
187,15	60%	0,54	-	1,66	1,72	-	-	2,29
202,75	65%	0,59	-	1,76	1,85	-	-	2,51
218,34	70%	0,63	-	1,87	2,00	-	-	2,73
233,94	75%	0,67	-	1,99	2,19	-	-	3,18
249,54	80%	0,75	-	2,18	2,48	-	-	4,91
265,13	85%	0,85	-	2,41	2,92	-	-	-
280,73	90%	1,04	-	2,96	4,28	-	-	-
296,33	95%	1,31	-	8,04	8,01	-	-	-
311,92	100%	2,36	-	-	16,20	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	21,62	6,9%	0,00	-	0,03	0,02	-	-	0,03
Punto de cambio de rigidez	35,50	11,4%	0,04	-	0,16	0,12	-	-	0,17
Abertura de fisura 0,20 mm	88,34	28,3%	0,20	-	0,80	0,61	-	-	0,96
Abertura de fisura 0,40 mm	147,78	47,4%	0,40	-	1,36	1,27	-	-	1,79
Abertura de fisura 0,60 mm	210,07	67,3%	0,60	-	1,82	1,92	-	-	2,61
Abertura de fisura 0,80 mm	256,19	82,1%	0,80	-	2,23	2,56	-	-	5,41
Primera plastificación	219,57	70,4%	0,63	-	1,88	2,01	-	-	2,75

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **25.6**

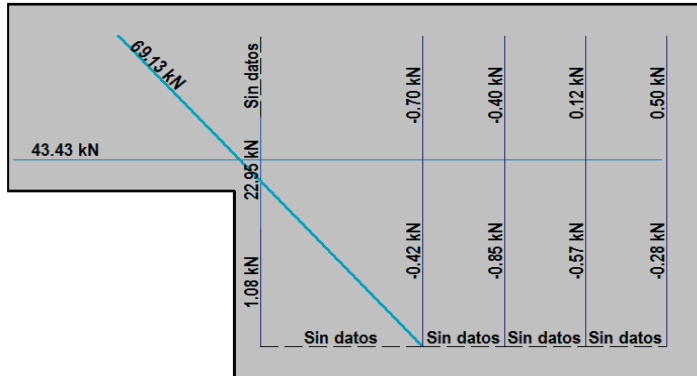
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2

ENSAYO: **DEB-2.4 (T1)**

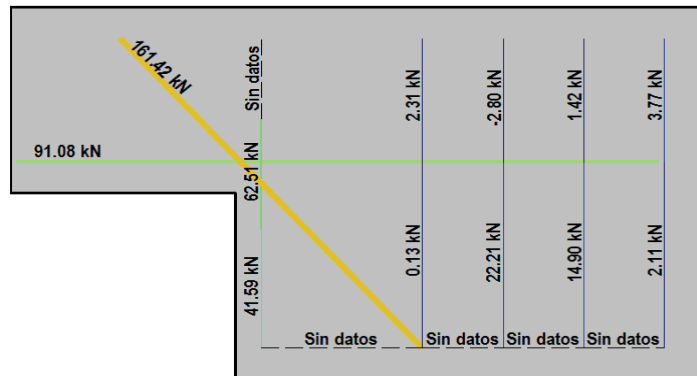
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

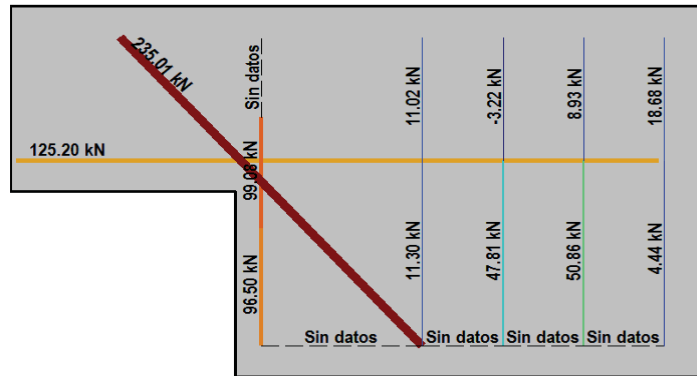
V (kN): 77,98
 V/V_{última}: **25%**
 w (mm): 0,16



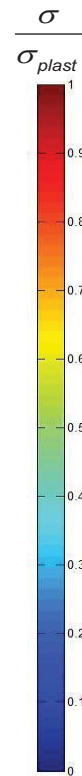
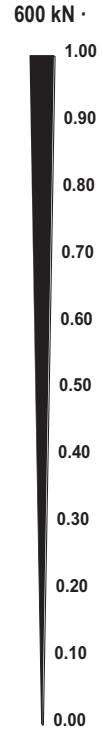
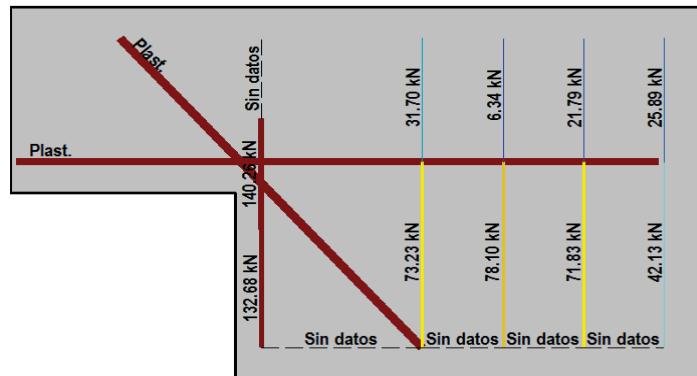
V (kN): 155,96
 V/V_{última}: **50%**
 w (mm): 0,43







V (kN): 233,94
 V/V_{última}: **75%**
 w (mm): 0,67




V (kN): 311,92
 V/V_{última}: **100%**
 w (mm): 2,36



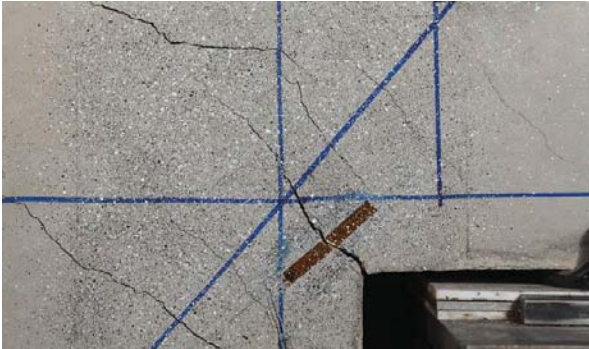
 		 		FICHA: 25.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.4 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

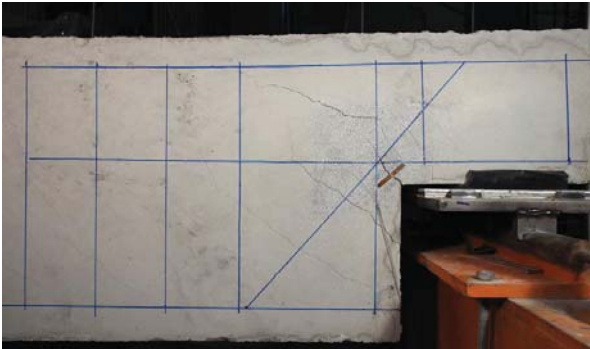
DETALLE DEL VÉRTICE AL 50% DE LA CARGA MÁXIMA




DETALLE DEL VÉRTICE A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura tiene una inclinación de unos 45° y al juntarse con otras fisuras se acaba arqueando hasta horizontalizarse, situándose de manera paralela a la armadura superior.
 - Aparece una fisura desde la cara vertical que define el cambio de canto. Dicha fisura tiene una abertura inferior a la abertura que parte del vértice.
 - Cerca de la rotura aparecen un total de 5 fisuras alrededor de la fisura del vértice, sensiblemente paralelas a ésta, quedando una longitud de unos 25 cm con una fisuración distribuida, siempre con la fisura que parte de la esquina con una abertura superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: primeramente el tirante inclinado y posteriormente el tirante vertical y poco después el horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima la carga cae de manera brusca un 15%. Posteriormente incluso aumenta ligeramente la carga, hasta que finalmente se descarga la pieza.

H.26 DEB-2.4 (T2)

				FICHA: 26.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.2
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 05/04/2011
 Edad (días): 26

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ10	Armado: 2φ12	Armado: 2φ12+1φ16
Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 2,26	Área (cm ²): 4,27
α: 39%	β: 42%	γ: 71%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

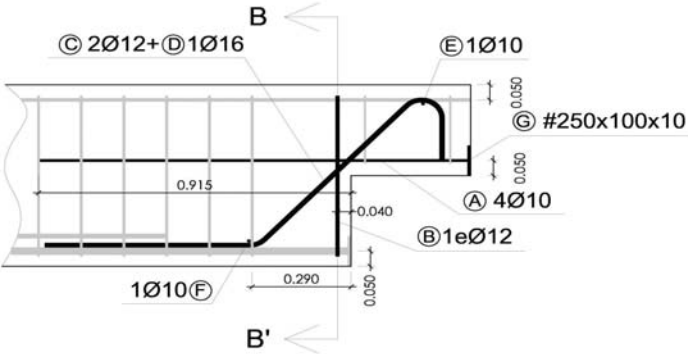
V última (kN): 309,45
 V (w=0,4 mm) (kN): 115,70 37%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
36,9	3,67	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

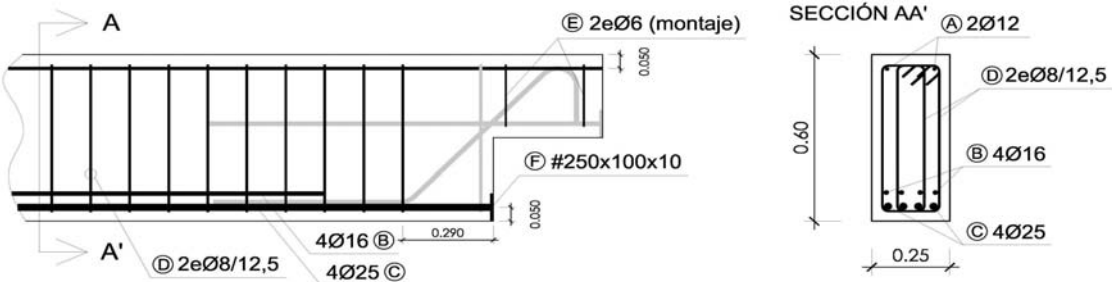
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

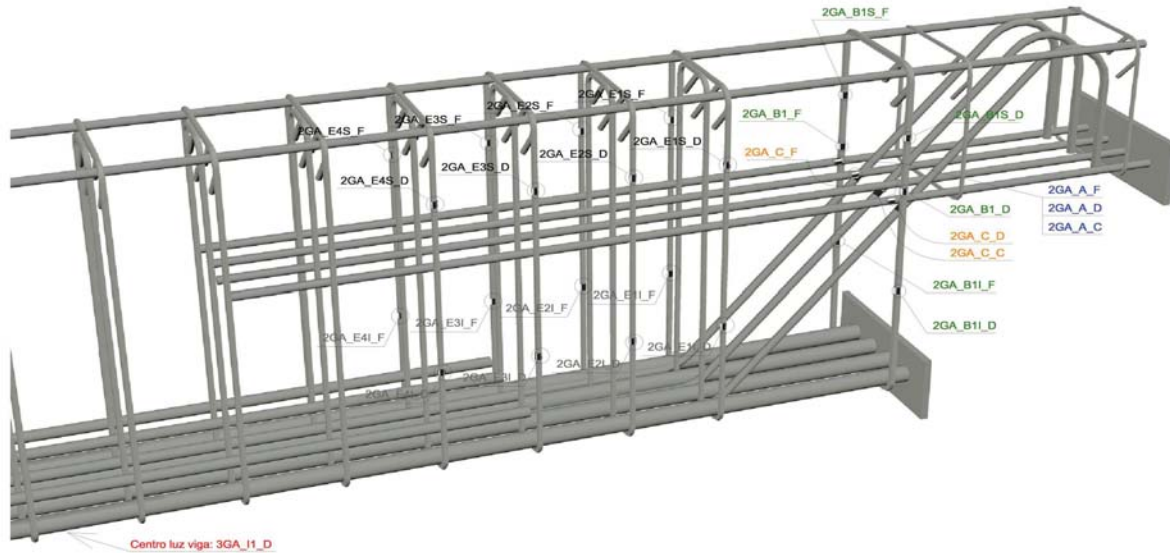
B2.- ARMADO DE LA VIGA



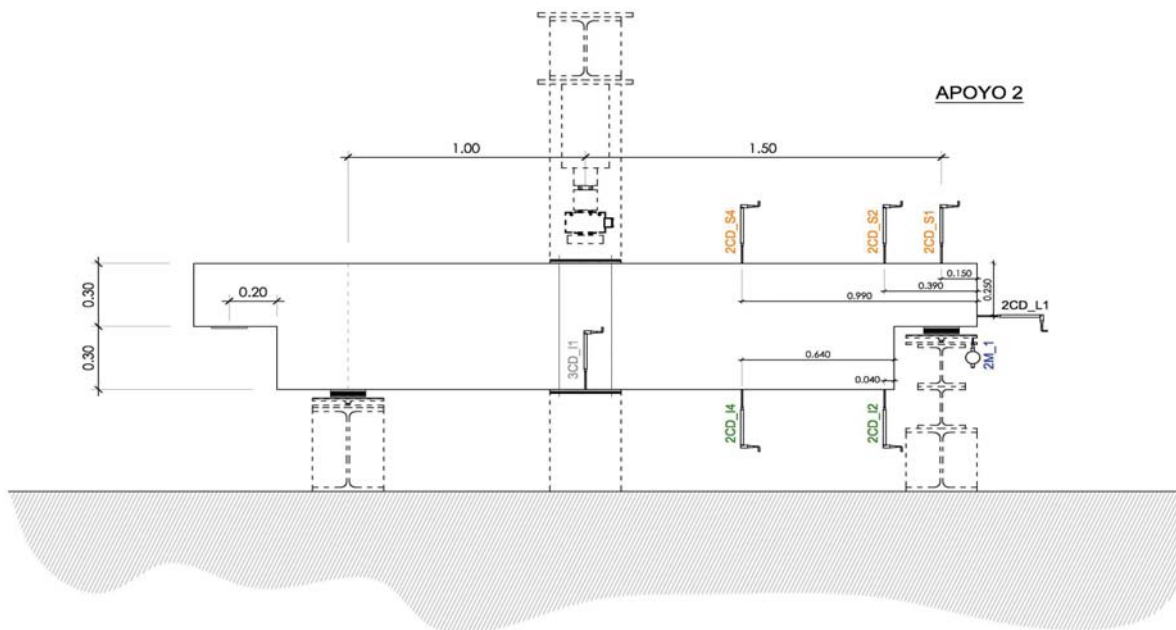
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



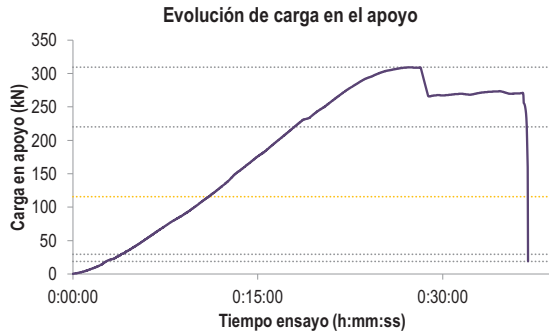
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



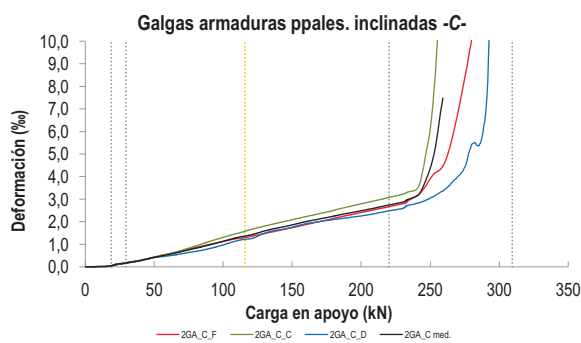
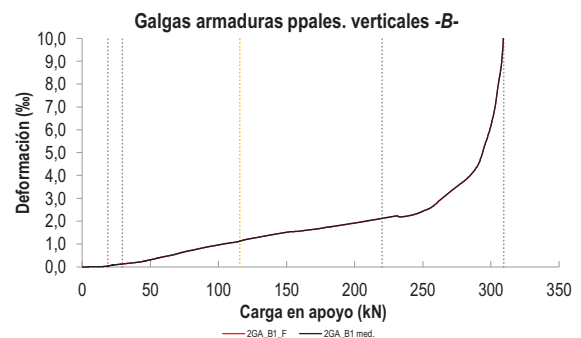
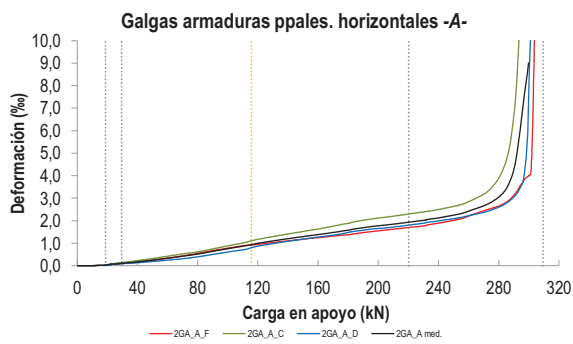
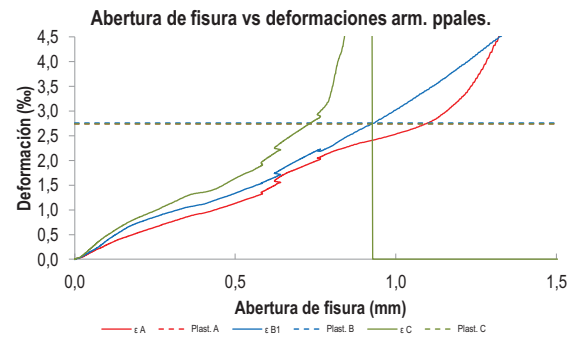
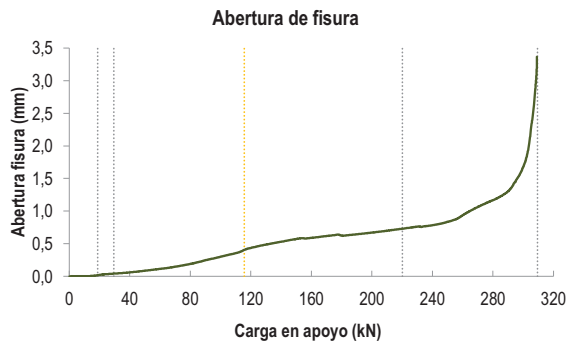
   		FICHA: 26.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

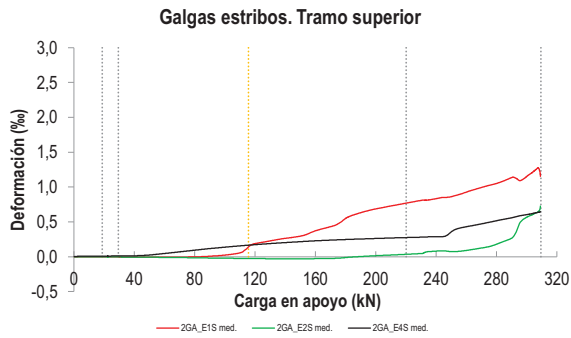


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE CAPTADOR DE DESPLAZAMIENTO SOBRE EL APOYO CONTRARIO AL ENSAYADO. NO PUEDE OBTENERSE LA FLECHA

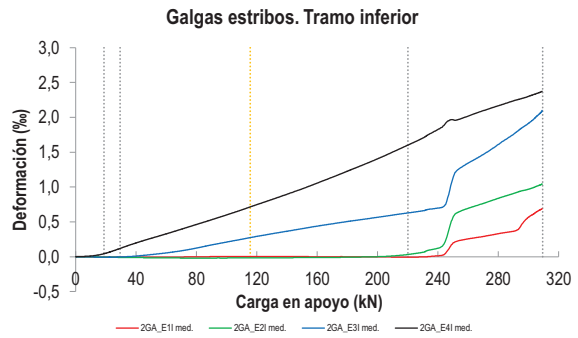


   		FICHA: 26.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

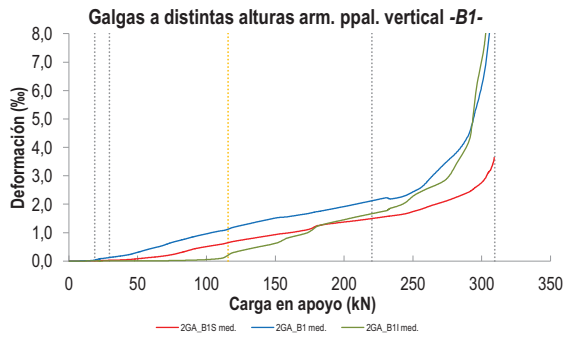
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 26.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.4 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

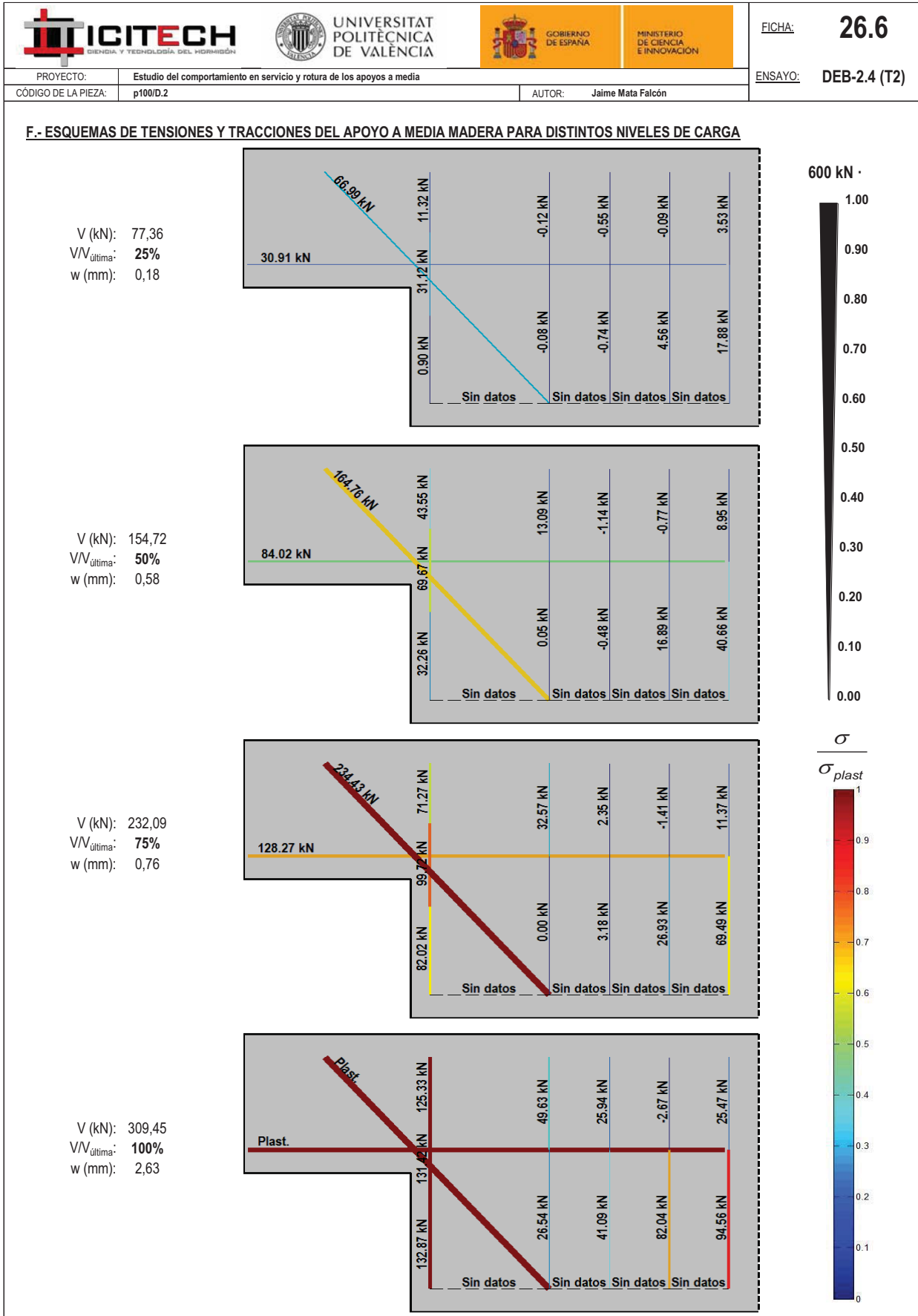
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
15,47	5%	0,00	-	0,02	0,02	-	-	0,02
30,94	10%	0,04	-	0,12	0,13	-	-	0,18
46,42	15%	0,08	-	0,22	0,26	-	-	0,37
61,89	20%	0,12	-	0,35	0,47	-	-	0,57
77,36	25%	0,18	-	0,49	0,69	-	-	0,78
92,83	30%	0,26	-	0,67	0,88	-	-	1,02
108,31	35%	0,35	-	0,85	1,05	-	-	1,27
123,78	40%	0,46	-	1,04	1,24	-	-	1,48
139,25	45%	0,53	-	1,19	1,40	-	-	1,72
154,72	50%	0,58	-	1,34	1,54	-	-	1,93
170,20	55%	0,62	-	1,48	1,64	-	-	2,13
185,67	60%	0,63	-	1,64	1,78	-	-	2,31
201,14	65%	0,67	-	1,78	1,93	-	-	2,50
216,61	70%	0,72	-	1,90	2,09	-	-	2,69
232,09	75%	0,76	-	2,04	2,21	-	-	2,93
247,56	80%	0,82	-	2,22	2,38	-	-	3,99
263,03	85%	0,98	-	2,49	2,93	-	-	7,24
278,50	90%	1,16	-	3,00	3,69	-	-	-
293,98	95%	1,44	-	6,20	5,11	-	-	-
309,45	100%	2,63	-	-	8,57	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,83	6,1%	0,02	-	0,03	0,04	-	-	0,04
Punto de cambio de rigidez	29,50	9,5%	0,04	-	0,11	0,12	-	-	0,17
Abertura de fisura 0,20 mm	81,80	26,4%	0,20	-	0,54	0,74	-	-	0,84
Abertura de fisura 0,40 mm	115,70	37,4%	0,40	-	0,94	1,13	-	-	1,36
Abertura de fisura 0,60 mm	169,86	54,9%	0,60	-	1,48	1,64	-	-	2,12
Abertura de fisura 0,80 mm	236,57	76,4%	0,80	-	2,08	2,21	-	-	3,02
Primera plastificación	220,18	71,2%	0,73	-	1,94	2,13	-	-	2,74

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



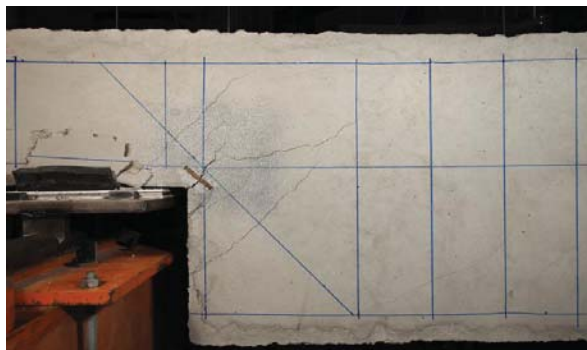
 		 		FICHA: 26.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.4 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA







DET. DE LA ESQUINA EN LA CARA DORSAL TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45° y después de atravesar las armaduras se divide en varias fisuras de inferior abertura.
 - Cerca de la rotura se producen una serie de fisuras paralelas a la fisura que parte de la esquina, quedando una fisuración distribuida con la fisura de la esquina con una abertura claramente superior.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: primero el tirante inclinado, después el tirante vertical y ligeramente después al tirante vertical.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, que se junta con otras fisuras a la altura de la armadura superior y produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima, la carga cae de manera brusca un 13,5% y queda estabilizada en ese entorno hasta que se procede a finalizar el ensayo y descargar la pieza.

H.27 DEB-2.5 (T1)

				FICHA: 27.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.5 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-	
Armado: 2φ8+2φ6	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12	
Área (cm ²): 1,57	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15	
α: 20%	β: 19%	γ: 85%	
Rec. mecán. (mm): 40			
Variante 1: - Variante 2: -			
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
37,1	2,84	0,00%	- -

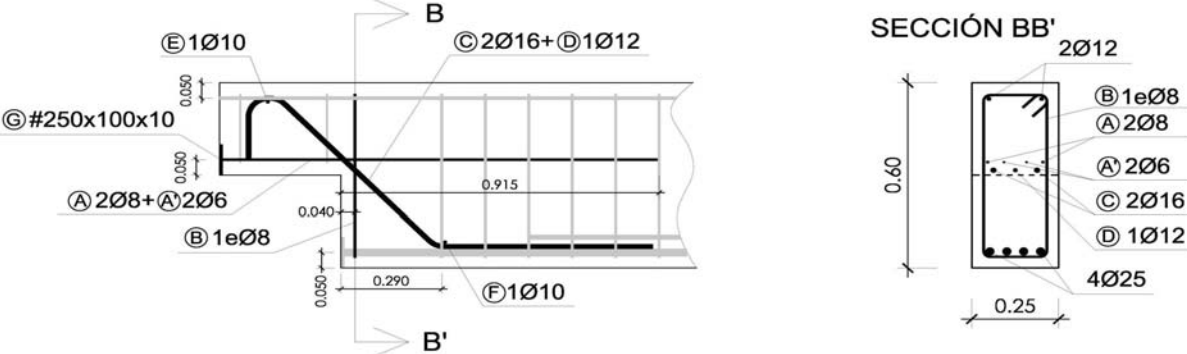
Codificación: p100/D.3
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 06/04/2011
 Edad (días): 27

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 265,06
 V (w=0,4 mm) (kN): 131,60 50%
 Modo de fallo: SY+SP (H-D)

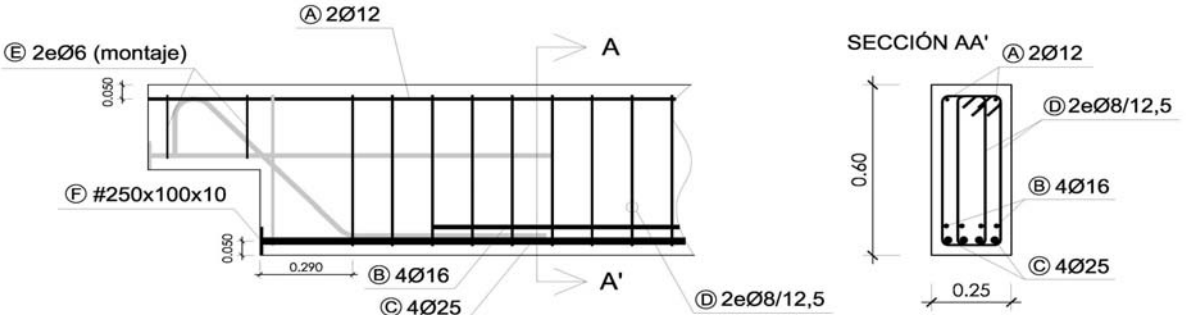
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

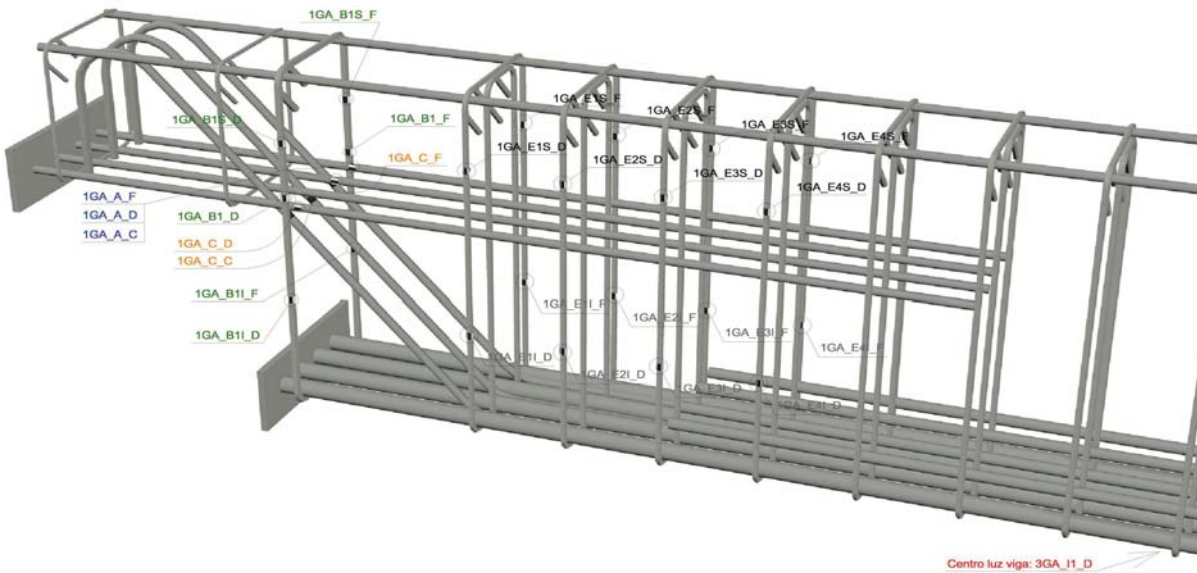
B2.- ARMADO DE LA VIGA



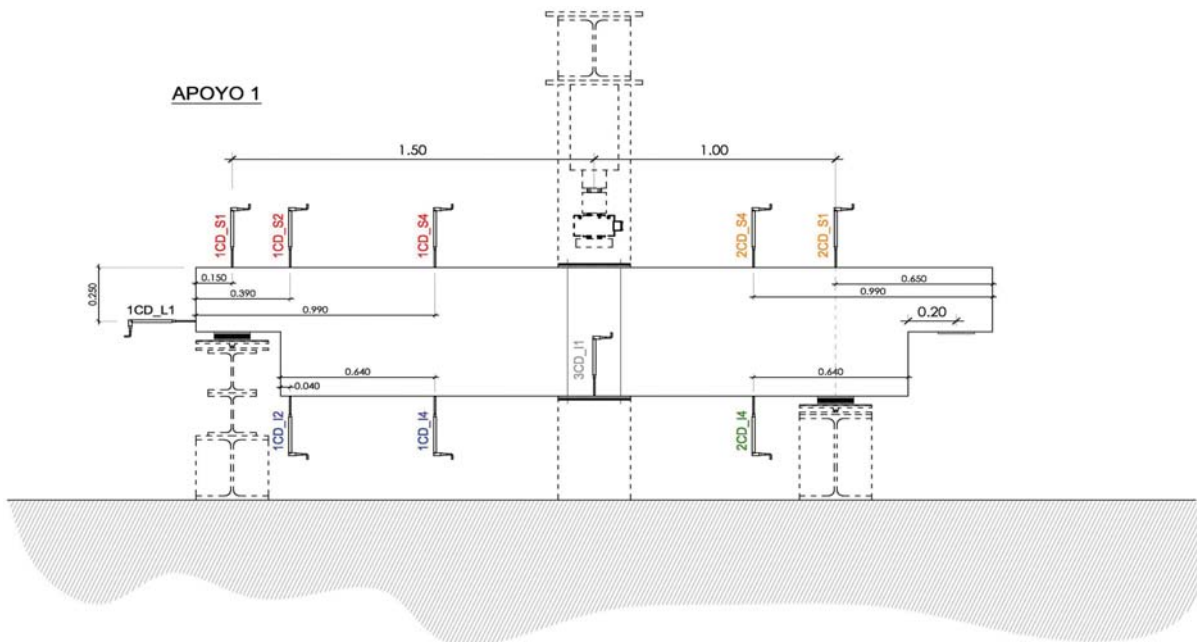
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

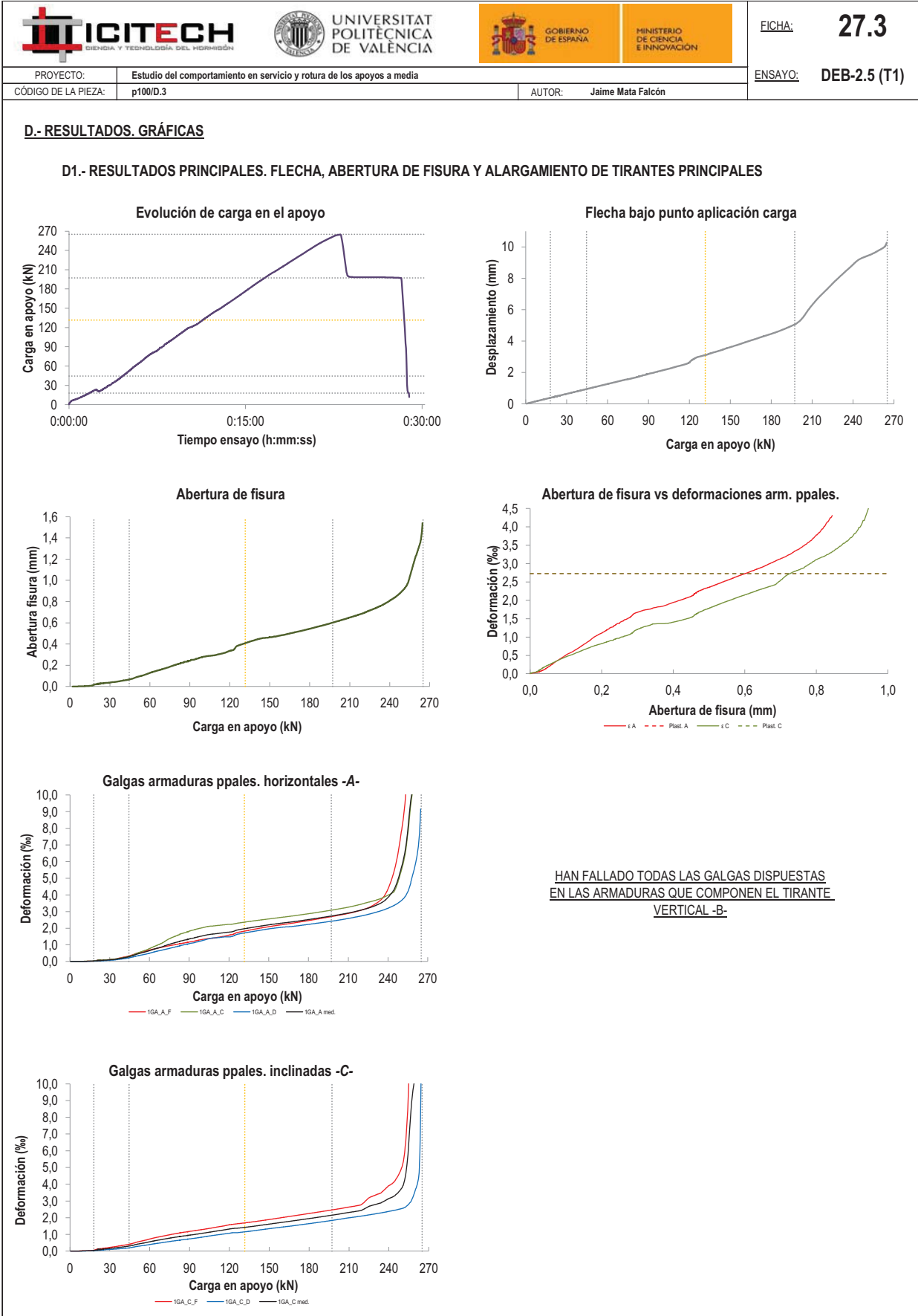
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



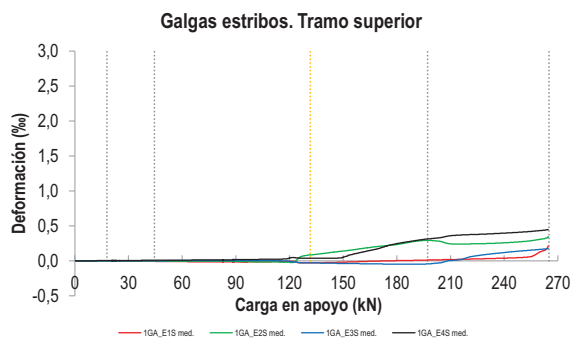
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



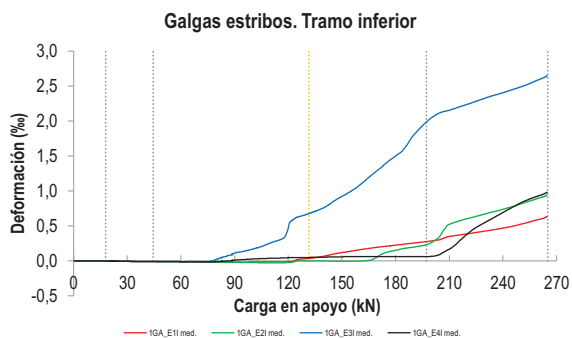


   		FICHA: 27.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.5 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

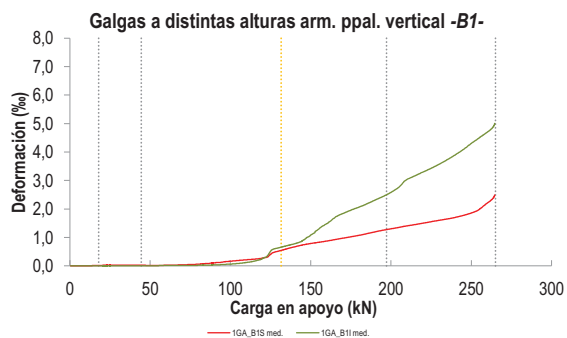
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 27.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.5 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

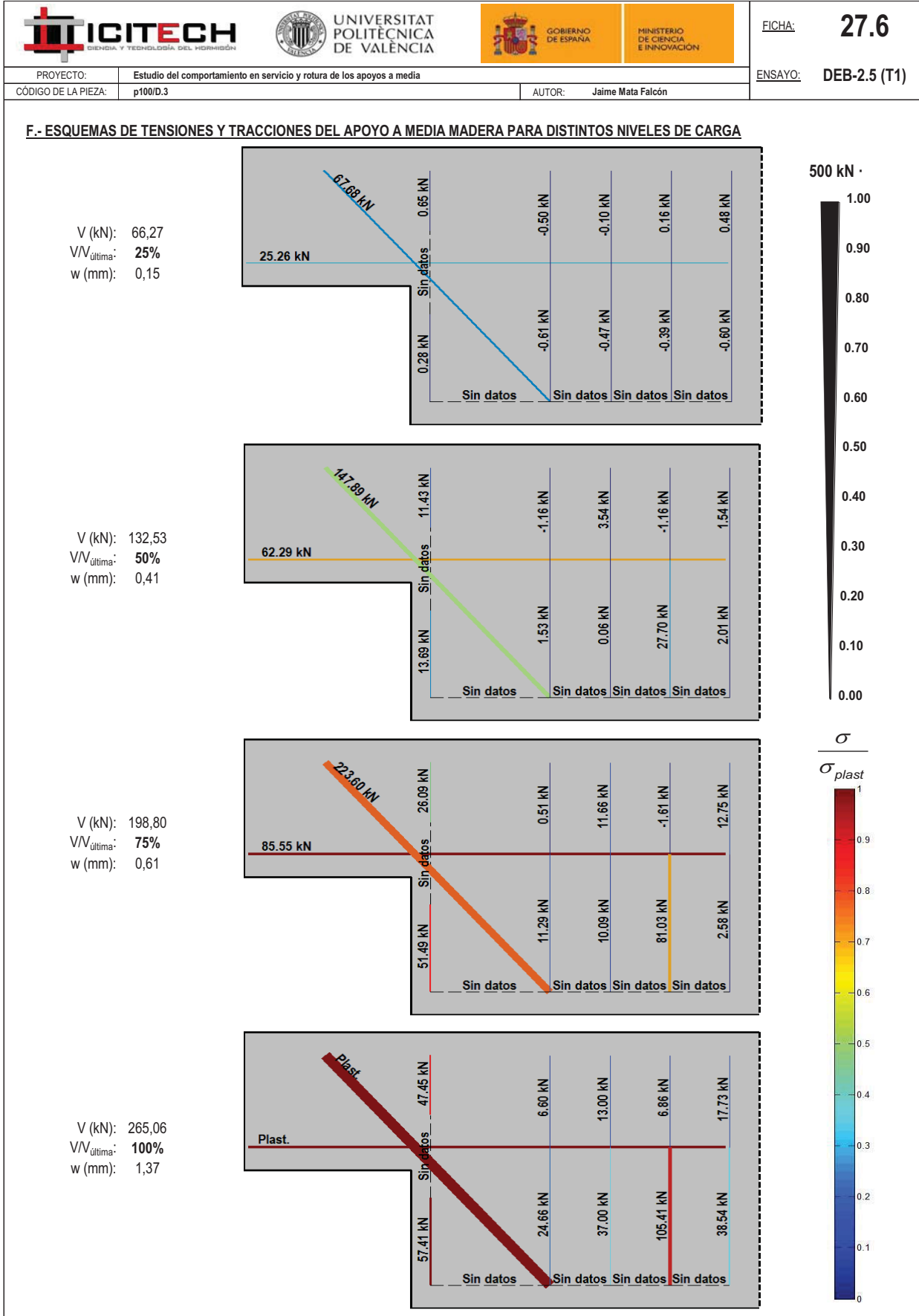
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	-	-	-	0,00
13,25	5%	0,00	0,28	0,01	-	-	-	0,02
26,51	10%	0,03	0,56	0,08	-	-	-	0,14
39,76	15%	0,05	0,83	0,21	-	-	-	0,25
53,01	20%	0,10	1,11	0,49	-	-	-	0,45
66,27	25%	0,15	1,39	0,80	-	-	-	0,66
79,52	30%	0,20	1,65	1,13	-	-	-	0,84
92,77	35%	0,26	1,98	1,41	-	-	-	0,99
106,03	40%	0,29	2,26	1,63	-	-	-	1,15
119,28	45%	0,33	2,63	1,76	-	-	-	1,32
132,53	50%	0,41	3,14	1,98	-	-	-	1,44
145,78	55%	0,46	3,49	2,15	-	-	-	1,57
159,04	60%	0,48	3,86	2,30	-	-	-	1,72
172,29	65%	0,52	4,24	2,43	-	-	-	1,86
185,54	70%	0,56	4,63	2,58	-	-	-	2,01
198,80	75%	0,61	5,16	2,75	-	-	-	2,17
212,05	80%	0,66	6,49	2,94	-	-	-	2,34
225,30	85%	0,72	7,68	3,21	-	-	-	2,66
238,56	90%	0,80	8,77	3,77	-	-	-	3,08
251,81	95%	0,96	9,48	6,63	-	-	-	5,01
265,06	100%	1,37	10,02	-	-	-	-	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	17,96	6,8%	0,02	0,38	0,03	-	-	-	0,04
Punto de cambio de rigidez	44,50	16,8%	0,07	0,93	0,29	-	-	-	0,31
Abertura de fisura 0,20 mm	79,18	29,9%	0,20	1,65	1,13	-	-	-	0,83
Abertura de fisura 0,40 mm	131,60	49,6%	0,40	3,11	1,97	-	-	-	1,43
Abertura de fisura 0,60 mm	196,44	74,1%	0,60	5,03	2,72	-	-	-	2,14
Abertura de fisura 0,80 mm	236,80	89,3%	0,80	8,61	3,64	-	-	-	3,00
Primera plastificación	197,22	74,4%	0,60	5,07	2,73	-	-	-	2,15


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



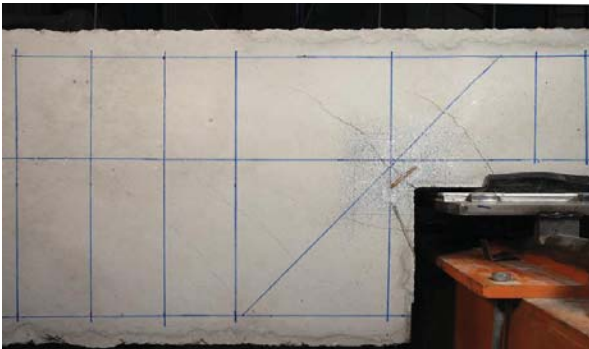
 		 		FICHA: 27.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.5 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN EN VÉRTICE A LA CARGA MÁXIMA




VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







VISTA DE LA CARA DORSAL TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Fallan todas las galgas dispuestas en el tirante vertical en las inmediaciones del vértice.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene una mayor abertura en servicio, pero debido a la debilidad del tirante horizontal, también en servicio aparece una fisura que parte del borde del neopreno de apoyo.
 - La fisura de la esquina tiene una inclinación de unos 45°, así como la fisura que parte del apoyo.
 - Para cargas elevadas también aparece una fisura que parte del paramento vertical por debajo del vértice. Esta fisura se genera por la debilidad del tirante vertical, es horizontal y queda bien cosida cuando alcanza la armadura inclinada.
 - Tras alcanzar la carga máxima aparece una fisura entre la que se genera entre el vértice y el borde del apoyo.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los tirantes principales en los que hay galgas: primeramente lo hace el tirante horizontal y algo después el inclinado.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, que se junta con otras fisuras y acaba produciendo el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima se produce un descenso súbito de la misma, estabilizándose la carga en un valor un 25% inferior a dicha carga máxima. Tras una fase con la carga estabilizada en este último valor se finaliza el ensayo descargándose la pieza.

H.28 DEB-2.5 (T2)

				FICHA: 28.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.5 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.3
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 07/04/2011
 Edad (días): 28

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

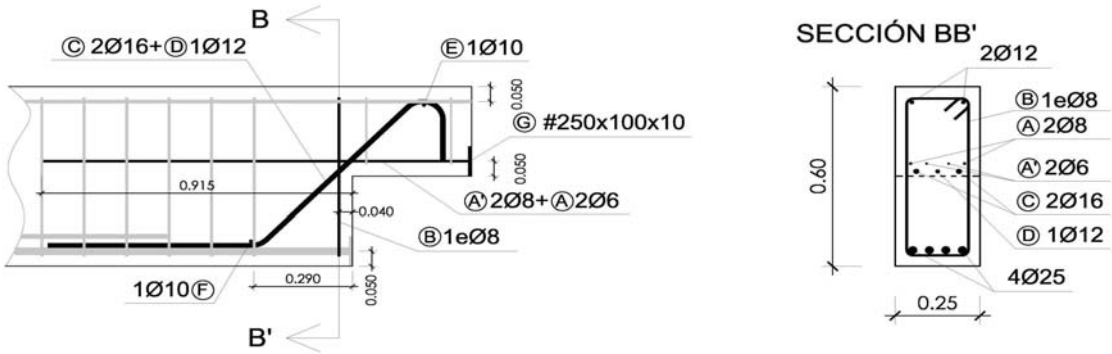
V última (kN): 294,94
 V (w=0,4 mm) (kN): 175,07 59%
 Modo de fallo: SY+SP (H-D-V)

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-		
Armado: 2φ8+2φ6	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12		
Área (cm ²): 1,57	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15		
α: 20%	β: 19%	γ: 85%		
Rec. mecán. (mm): 40				
Variante 1: - Variante 2: -				
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
37,1	2,84	0,00%	-	-

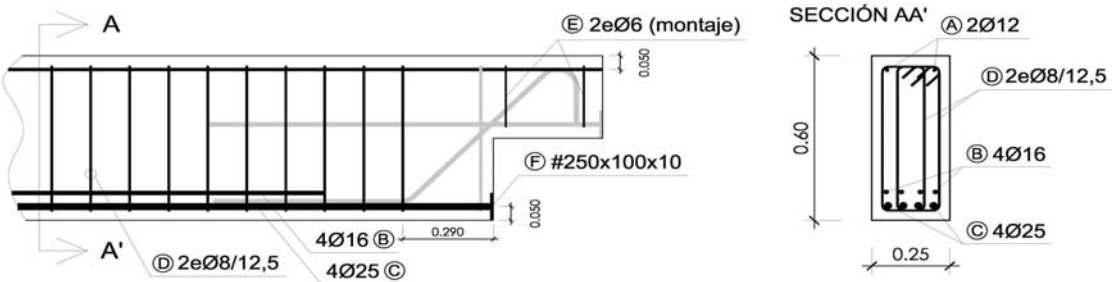
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

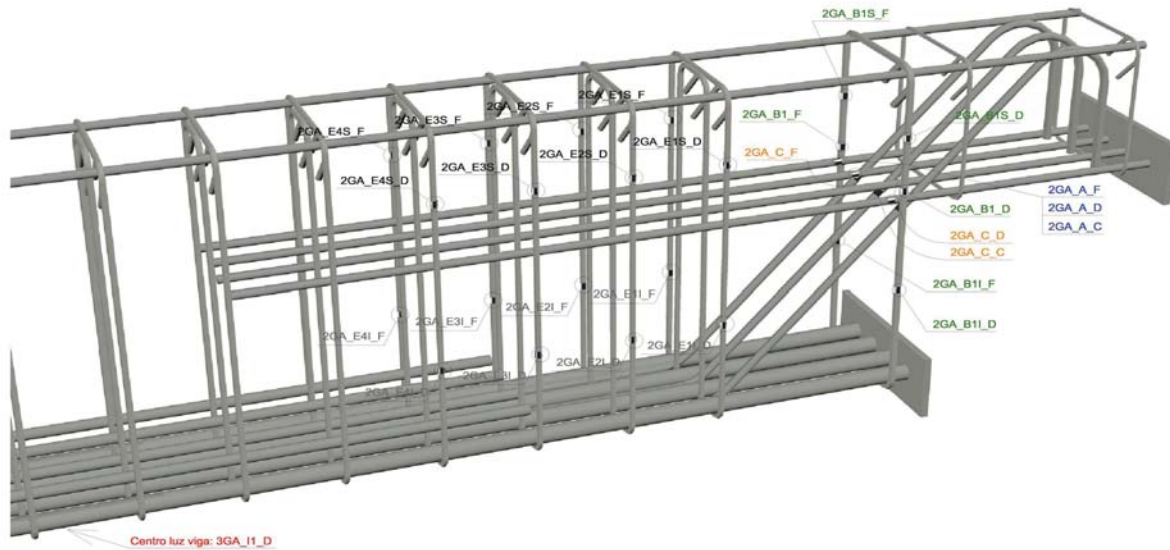
B2.- ARMADO DE LA VIGA



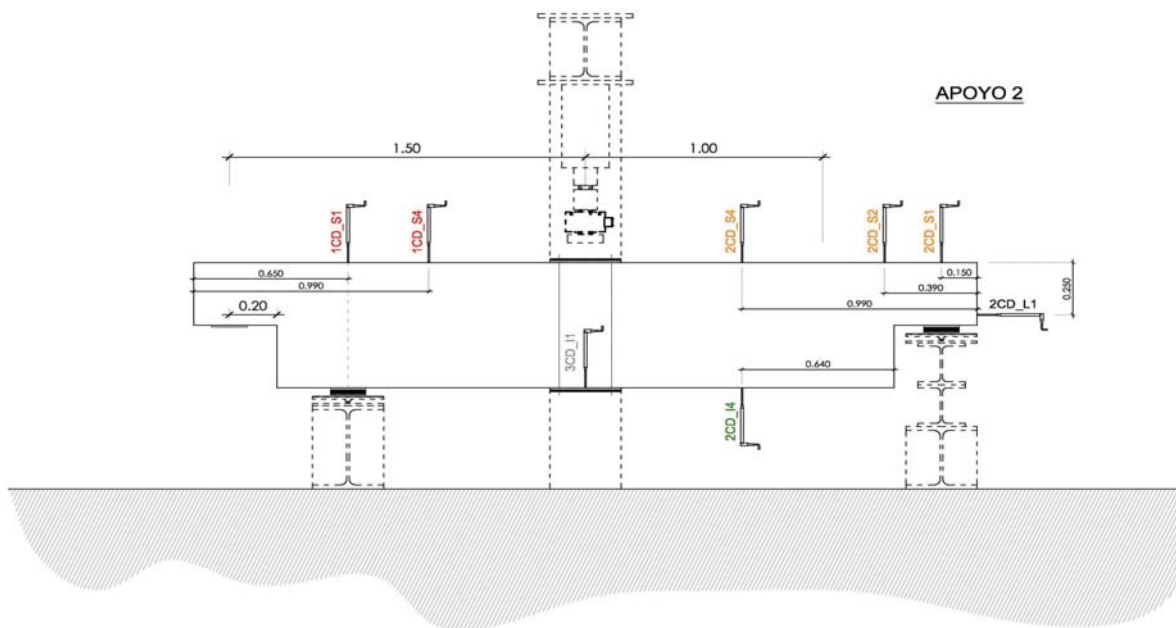
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

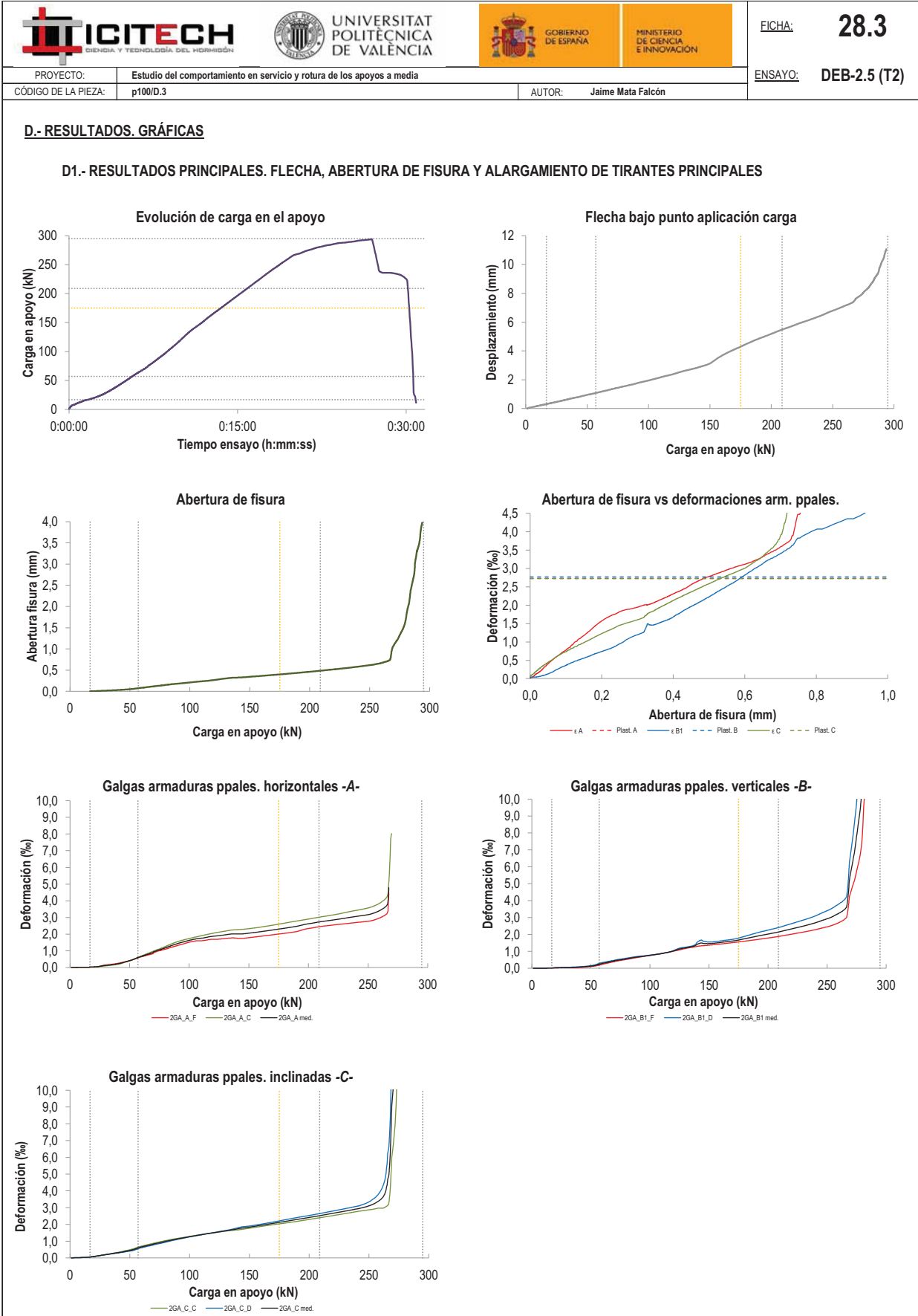
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



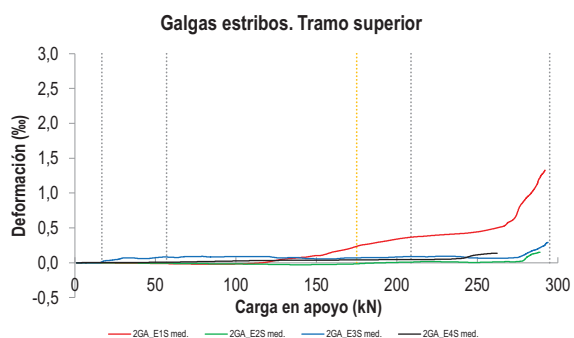
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



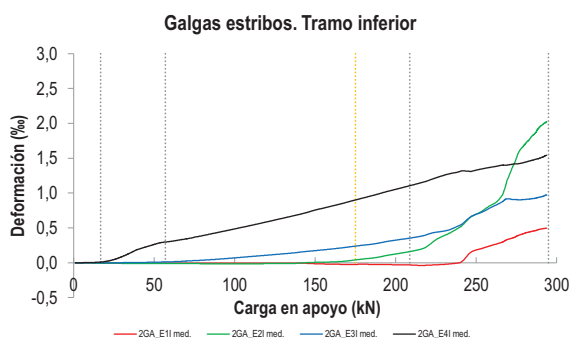


   		FICHA: 28.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.5 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

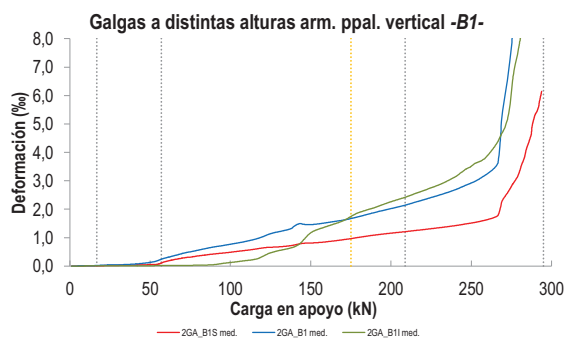
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 28.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.5 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

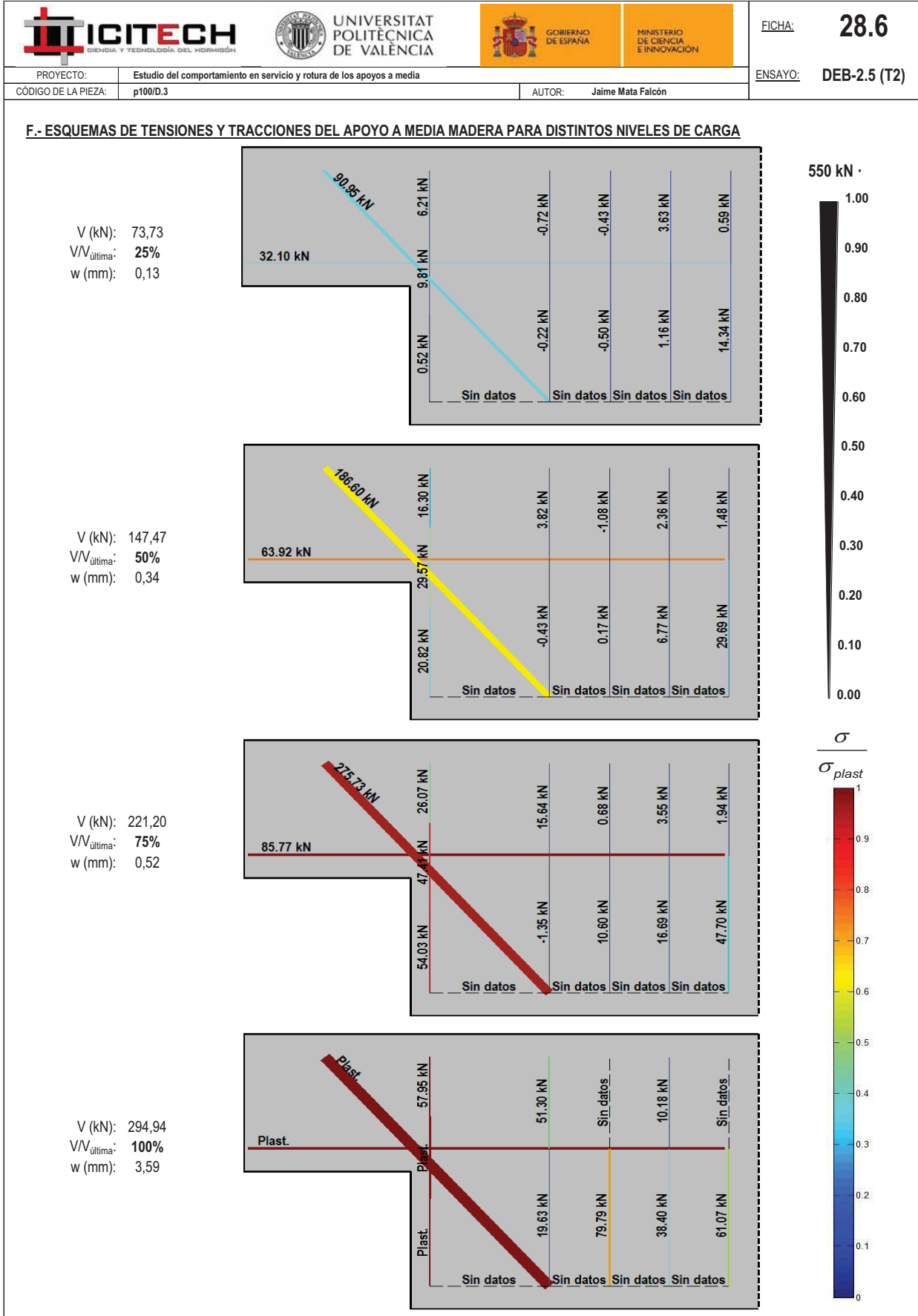
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
14,75	5%	0,00	0,27	0,02	0,01	-	-	0,04
29,49	10%	0,02	0,55	0,12	0,04	-	-	0,19
44,24	15%	0,04	0,83	0,29	0,09	-	-	0,36
58,99	20%	0,08	1,12	0,64	0,28	-	-	0,64
73,73	25%	0,13	1,41	1,02	0,49	-	-	0,88
88,48	30%	0,18	1,71	1,40	0,66	-	-	1,11
103,23	35%	0,22	2,02	1,68	0,80	-	-	1,31
117,97	40%	0,26	2,34	1,85	0,99	-	-	1,48
132,72	45%	0,31	2,69	1,99	1,24	-	-	1,65
147,47	50%	0,34	3,04	2,04	1,46	-	-	1,81
162,22	55%	0,37	3,78	2,17	1,55	-	-	1,97
176,96	60%	0,40	4,37	2,32	1,70	-	-	2,14
191,71	65%	0,44	4,91	2,50	1,91	-	-	2,31
206,46	70%	0,48	5,40	2,70	2,11	-	-	2,49
221,20	75%	0,52	5,86	2,85	2,35	-	-	2,68
235,95	80%	0,57	6,31	3,02	2,61	-	-	2,87
250,70	85%	0,62	6,81	3,19	2,94	-	-	3,13
265,44	90%	0,83	7,43	3,76	4,16	-	-	5,98
280,19	95%	1,88	8,61	-	11,98	-	-	22,48
294,94	100%	3,59	10,49	-	-	-	-	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	16,80	5,7%	0,00	0,31	0,02	0,02	-	-	0,05
Punto de cambio de rigidez	57,00	19,3%	0,07	1,08	0,59	0,24	-	-	0,60
Abertura de fisura 0,20 mm	96,41	32,7%	0,20	1,87	1,56	0,73	-	-	1,22
Abertura de fisura 0,40 mm	175,07	59,4%	0,40	4,30	2,30	1,67	-	-	2,12
Abertura de fisura 0,60 mm	243,45	82,5%	0,60	6,56	3,10	2,77	-	-	2,98
Abertura de fisura 0,80 mm	266,98	90,5%	0,80	7,50	3,81	4,53	-	-	7,00
Primera plastificación	208,81	70,8%	0,48	5,47	2,73	2,14	-	-	2,52


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




 		 		FICHA: 28.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.5 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA




VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







DETALLE DE FISURACIÓN EN CARA DORSAL TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio y hasta alcanzar la carga máxima.
 - Dicha fisura anterior parte con una inclinación de unos 30° con la horizontal, para al encontrarse con los tirantes vertical e inclinado tomar una inclinación de unos 45°.
 - Para cargas relativamente bajas aparecen también dos fisuras desde el paramento vertical que define el cambio de canto. Parten con una inclinación similar a la de la fisura que parte de la esquina y al cortar el tirante inclinado se verticalizan tomando una inclinación de unos 45°.
 - Una vez alcanzada la carga máxima aparecen fisuras desde el borde del apoyo, con una inclinación de unos 60° con la horizontal, que buscan la cabeza del estribo vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales, todos prácticamente a la misma carga.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, que alcanza la parte superior del tirante principal vertical y produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La pieza pierde súbitamente un 20% de su carga tras alcanzar la carga máxima.

H.29 DEB-2.6 (T1)

				FICHA: 29.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.1
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 14/04/2011
 Edad (días): 35

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 100%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

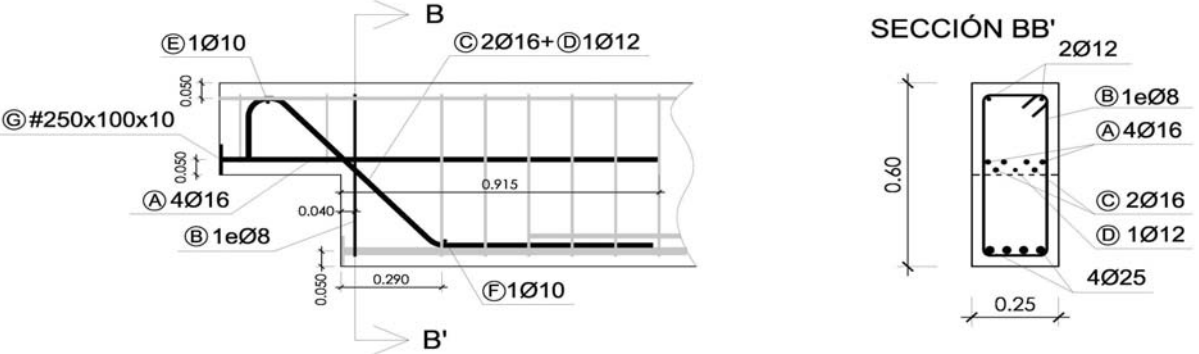
V última (kN): 328,09
 V (w=0,4 mm) (kN): 135,76 41%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
38,3	3,19	0,00%	- -

Variante 1: -
 Variante 2: -

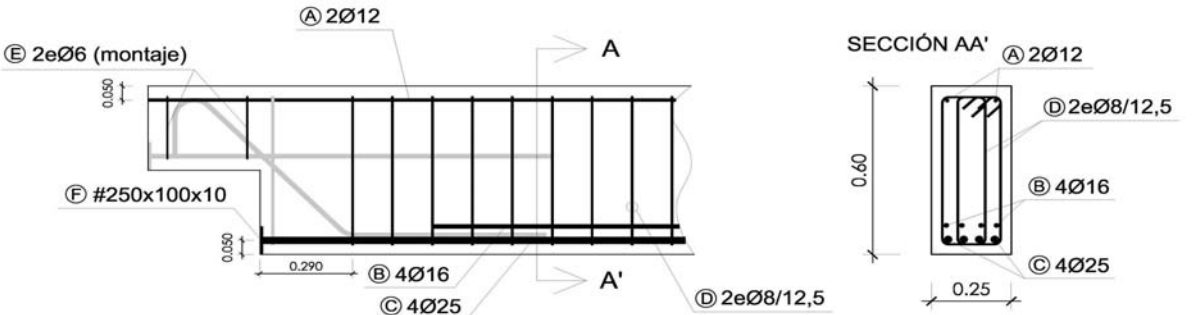
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

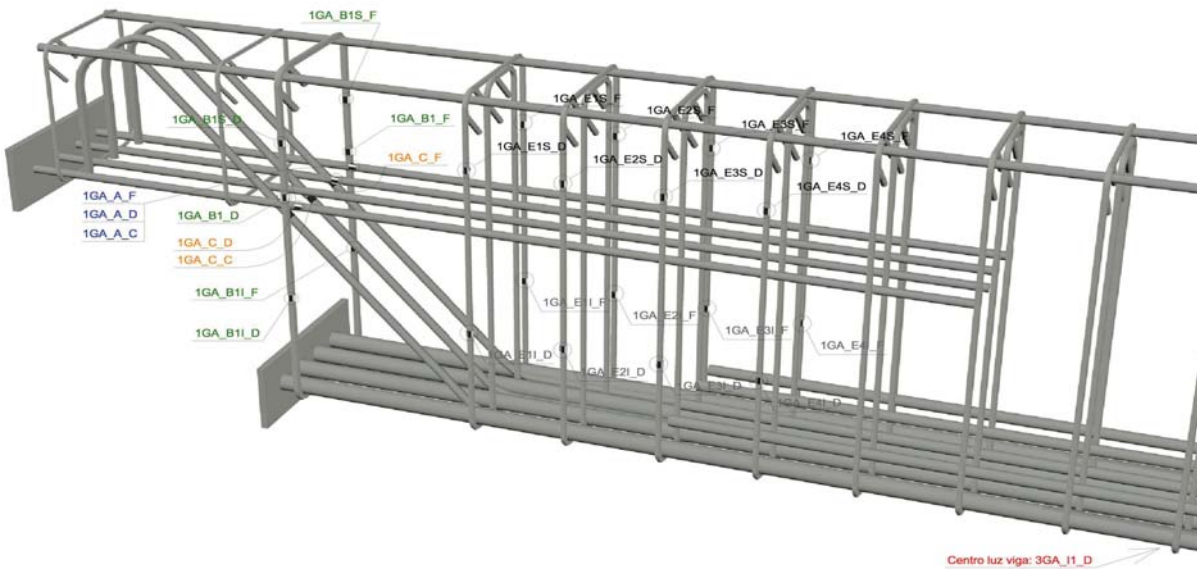
B2.- ARMADO DE LA VIGA



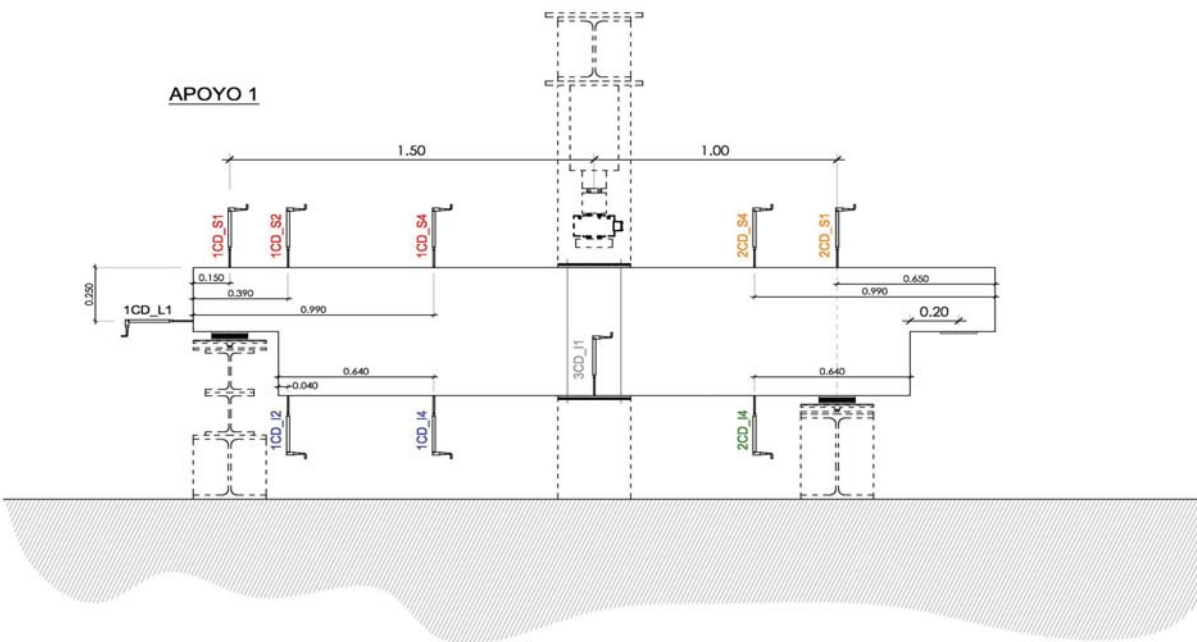
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



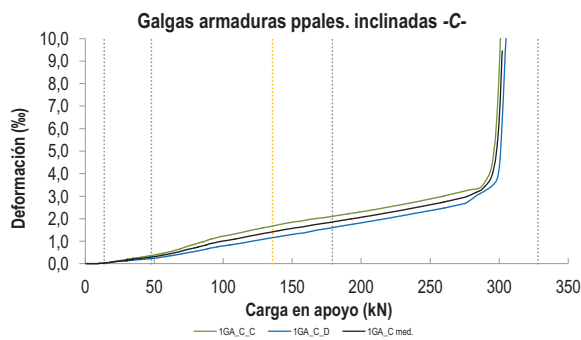
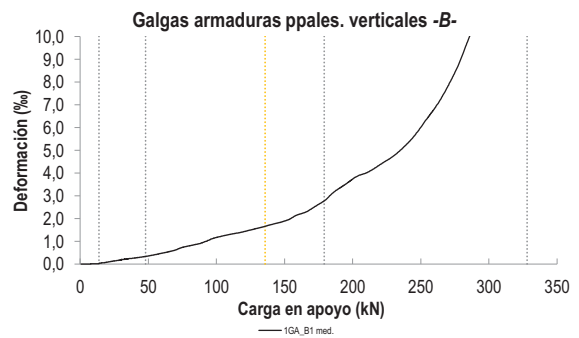
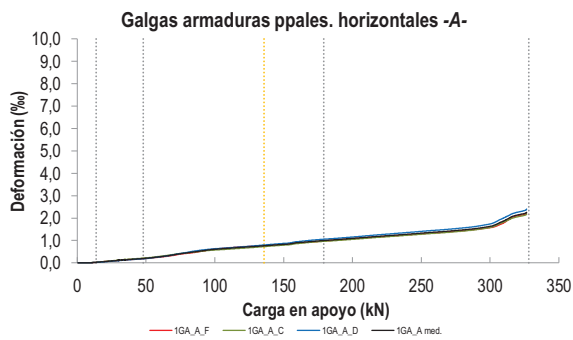
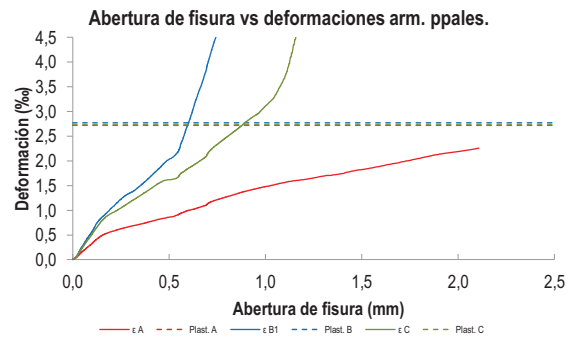
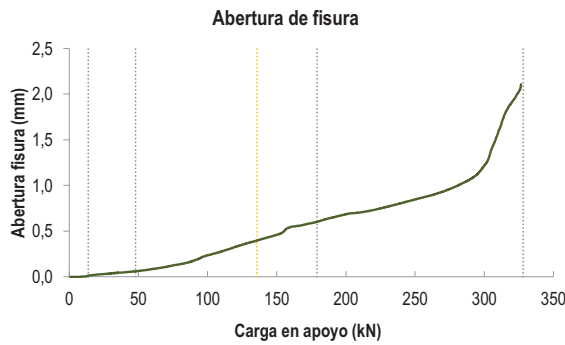
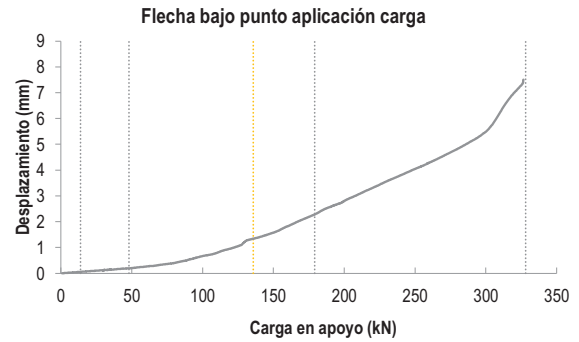
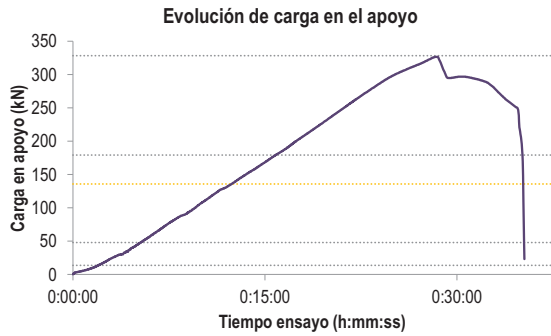
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 29.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

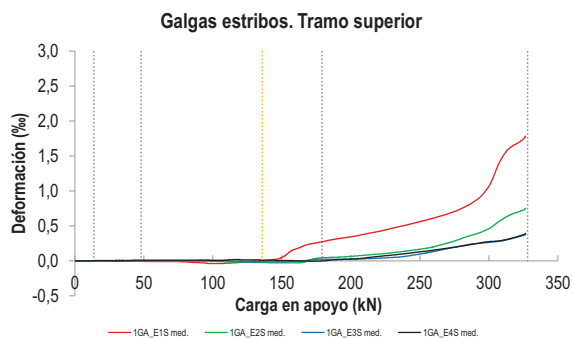
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

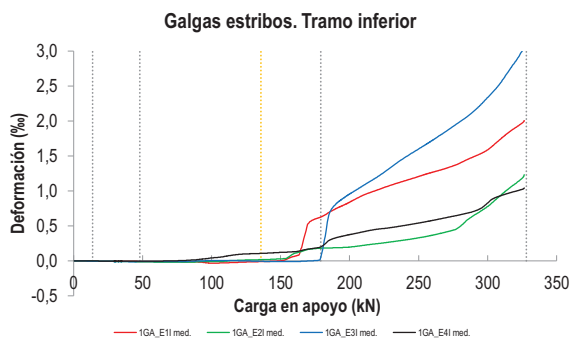


   		FICHA: 29.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

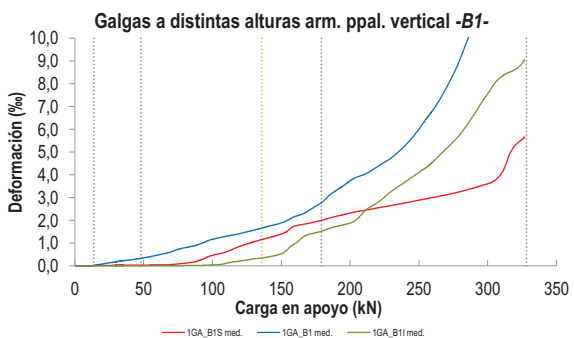
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 29.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.6 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
16,40	5%	0,02	0,07	0,04	0,05	-	-	0,05
32,81	10%	0,04	0,13	0,13	0,21	-	-	0,18
49,21	15%	0,06	0,20	0,20	0,35	-	-	0,31
65,62	20%	0,10	0,29	0,32	0,55	-	-	0,50
82,02	25%	0,14	0,42	0,47	0,82	-	-	0,75
98,43	30%	0,23	0,65	0,60	1,15	-	-	1,00
114,83	35%	0,30	0,88	0,68	1,35	-	-	1,17
131,24	40%	0,38	1,26	0,74	1,59	-	-	1,36
147,64	45%	0,45	1,53	0,82	1,85	-	-	1,55
164,05	50%	0,55	1,92	0,92	2,25	-	-	1,71
180,45	55%	0,61	2,32	1,00	2,85	-	-	1,87
196,86	60%	0,67	2,72	1,08	3,59	-	-	2,03
213,26	65%	0,71	3,14	1,16	4,11	-	-	2,20
229,66	70%	0,77	3,55	1,23	4,74	-	-	2,38
246,07	75%	0,83	3,95	1,31	5,71	-	-	2,57
262,47	80%	0,90	4,32	1,38	6,94	-	-	2,76
278,88	85%	0,98	4,79	1,47	8,94	-	-	3,05
295,28	90%	1,14	5,32	1,59	10,58	-	-	4,57
311,69	95%	1,65	6,37	1,93	-	-	-	-
328,09	100%	2,02	7,28	2,20	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

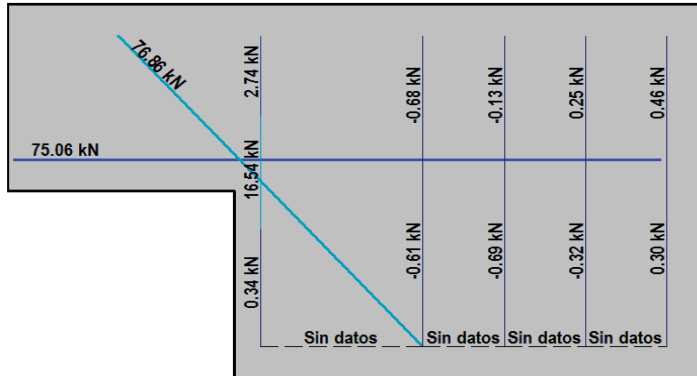
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	13,79	4,2%	0,00	0,06	0,03	0,03	-	-	0,03
Punto de cambio de rigidez	48,00	14,6%	0,06	0,19	0,20	0,33	-	-	0,30
Abertura de fisura 0,20 mm	93,73	28,6%	0,20	0,58	0,57	1,04	-	-	0,94
Abertura de fisura 0,40 mm	135,76	41,4%	0,40	1,34	0,77	1,66	-	-	1,42
Abertura de fisura 0,60 mm	176,34	53,7%	0,60	2,22	0,99	2,67	-	-	1,83
Abertura de fisura 0,80 mm	237,48	72,4%	0,80	3,74	1,27	5,14	-	-	2,47
Primera plastificación	179,13	54,6%	0,60	2,29	1,00	2,79	-	-	1,86

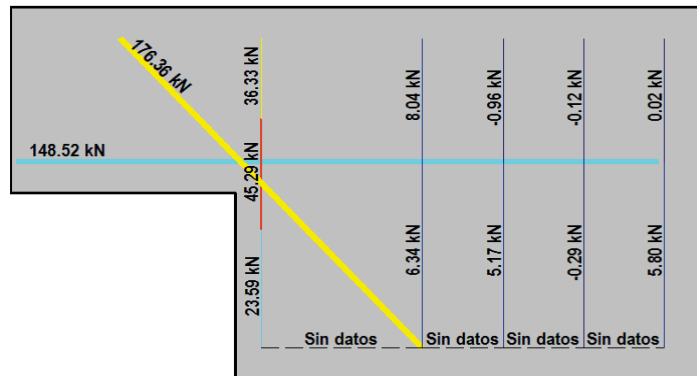
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

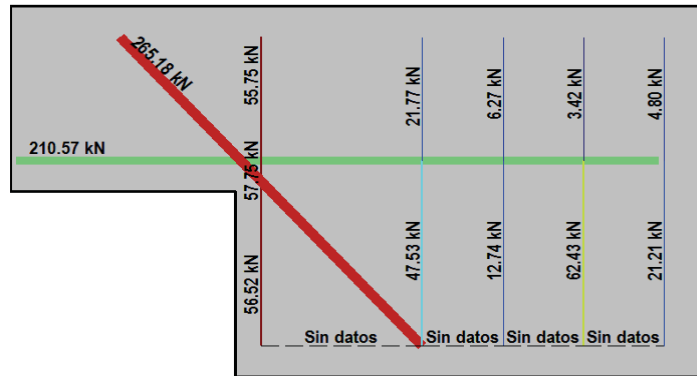
V (kN): 82,02
 V/V_{última}: **25%**
 w (mm): 0,14



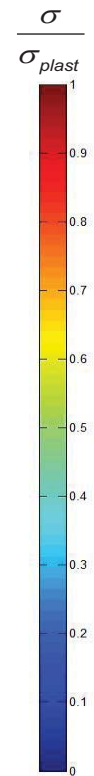
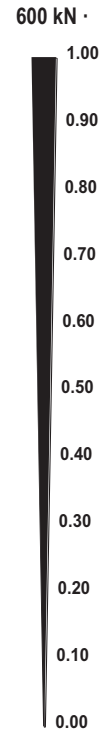
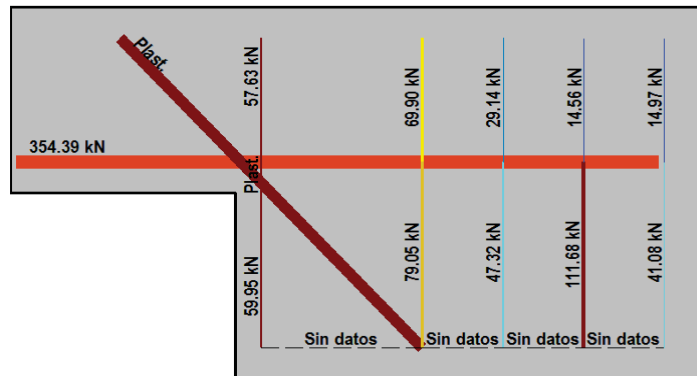
V (kN): 164,05
 V/V_{última}: **50%**
 w (mm): 0,55



V (kN): 246,07
 V/V_{última}: **75%**
 w (mm): 0,83



V (kN): 328,09
 V/V_{última}: **100%**
 w (mm): 2,02



 		 		FICHA: 29.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-2.6 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE LA FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







DETALLE DEL APOYO TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con el tirante inclinado y el horizontal situarse totalmente horizontal, alineado completamente con el tirante horizontal. Esto es debido a la elevada cuantía dispuesta en dicho tirante, que cose perfectamente las fisuras en dirección ortogonal a él.
 - Cerca de la rotura aparece una fisuración paralela sobre el apoyo. Dichas fisuras son desviadas por el tirante inclinado y tienden a disponerse paralelas a la armadura superior. La fisura que parte del borde del apoyo se abre bastante tras alcanzar la carga máxima.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Algo por encima de la mitad de la carga máxima plastifica el tirante vertical y ya más cerca de ésta lo hace el tirante inclinado. El tirante horizontal, al disponerse muy sobredimensionado no llega a plastificar.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse a la altura de la armadura superior con las otras otras fisuras que parten del apoyo y acaban levantando el recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima la pieza se deteriora y pierde el 10% de la carga.

H.30 DEB-2.6 (T2)

				FICHA: 30.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.1
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 18/04/2011
 Edad (días): 39

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

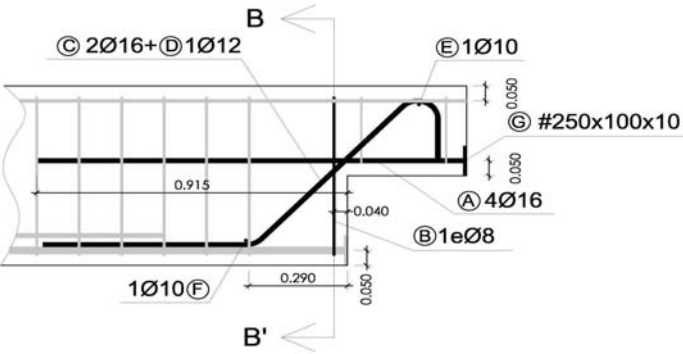
V última (kN): 382,60
 V (w=0,4 mm) (kN): 164,79 43%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D-H)

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 100%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		
Variante 1: - Variante 2: -		
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras
38,3	3,19	0,00%
		f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
		- -

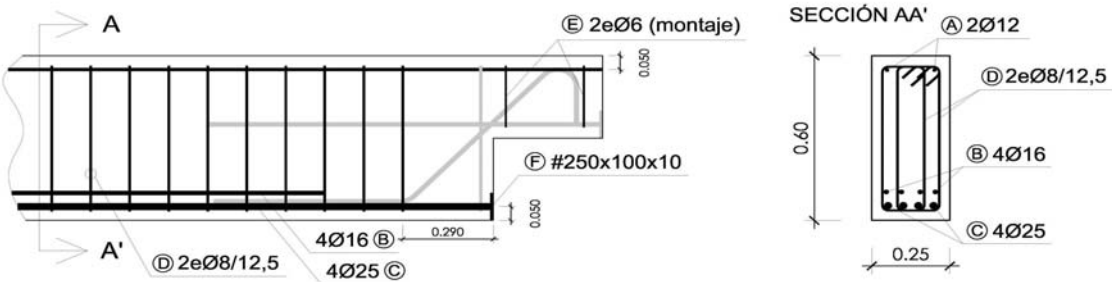
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

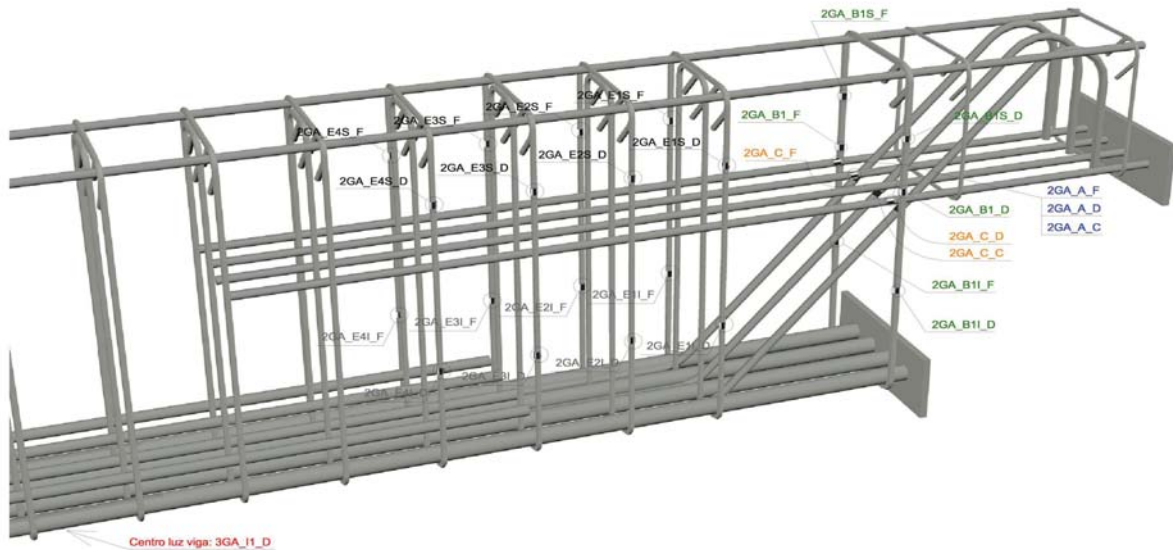
B2.- ARMADO DE LA VIGA



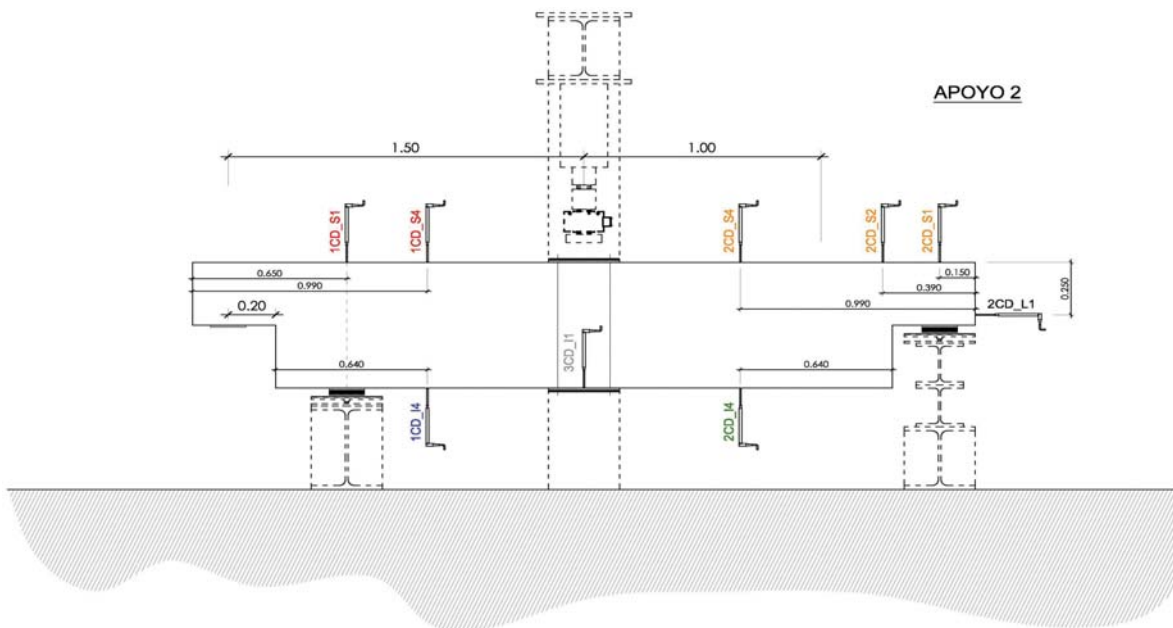
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



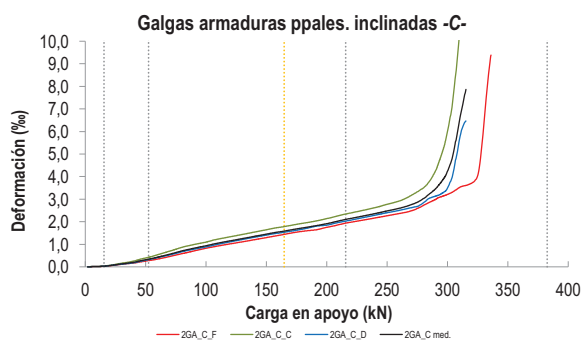
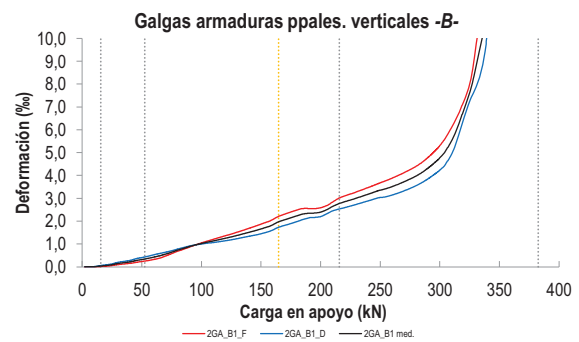
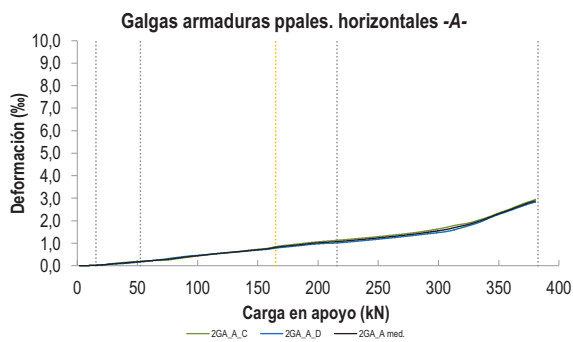
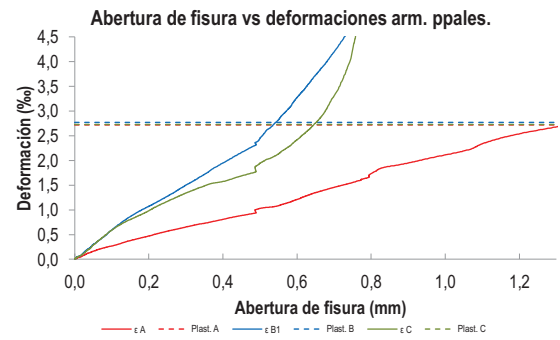
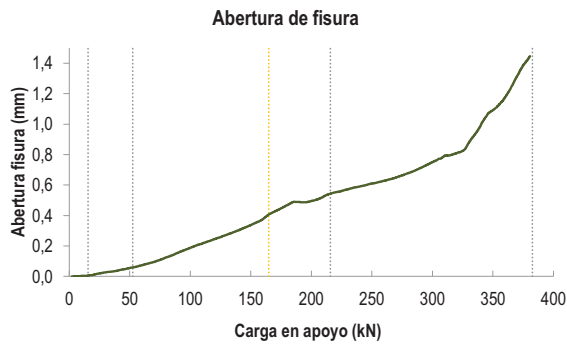
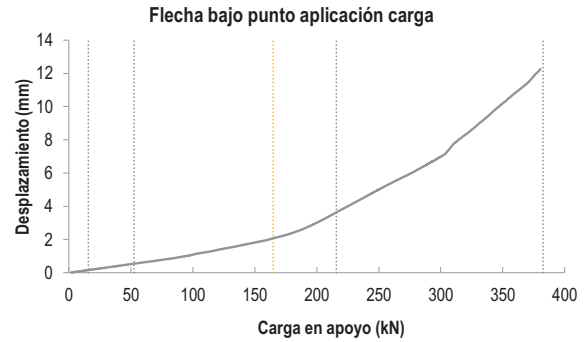
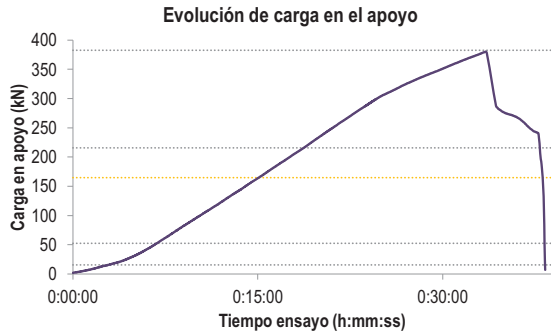
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 30.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

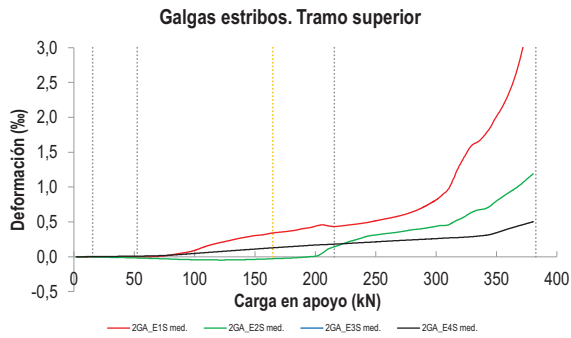
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

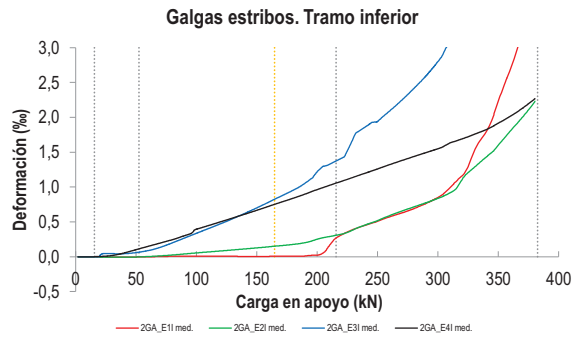


   		FICHA: 30.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

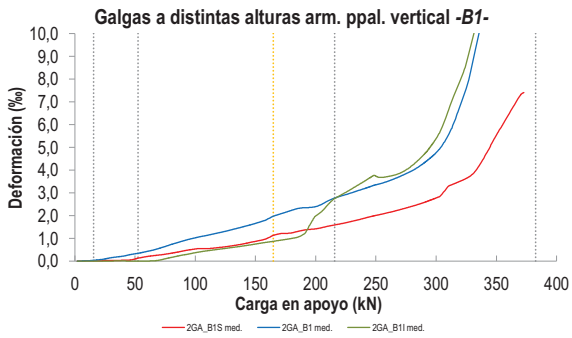
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

				FICHA: 30.5
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-2.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

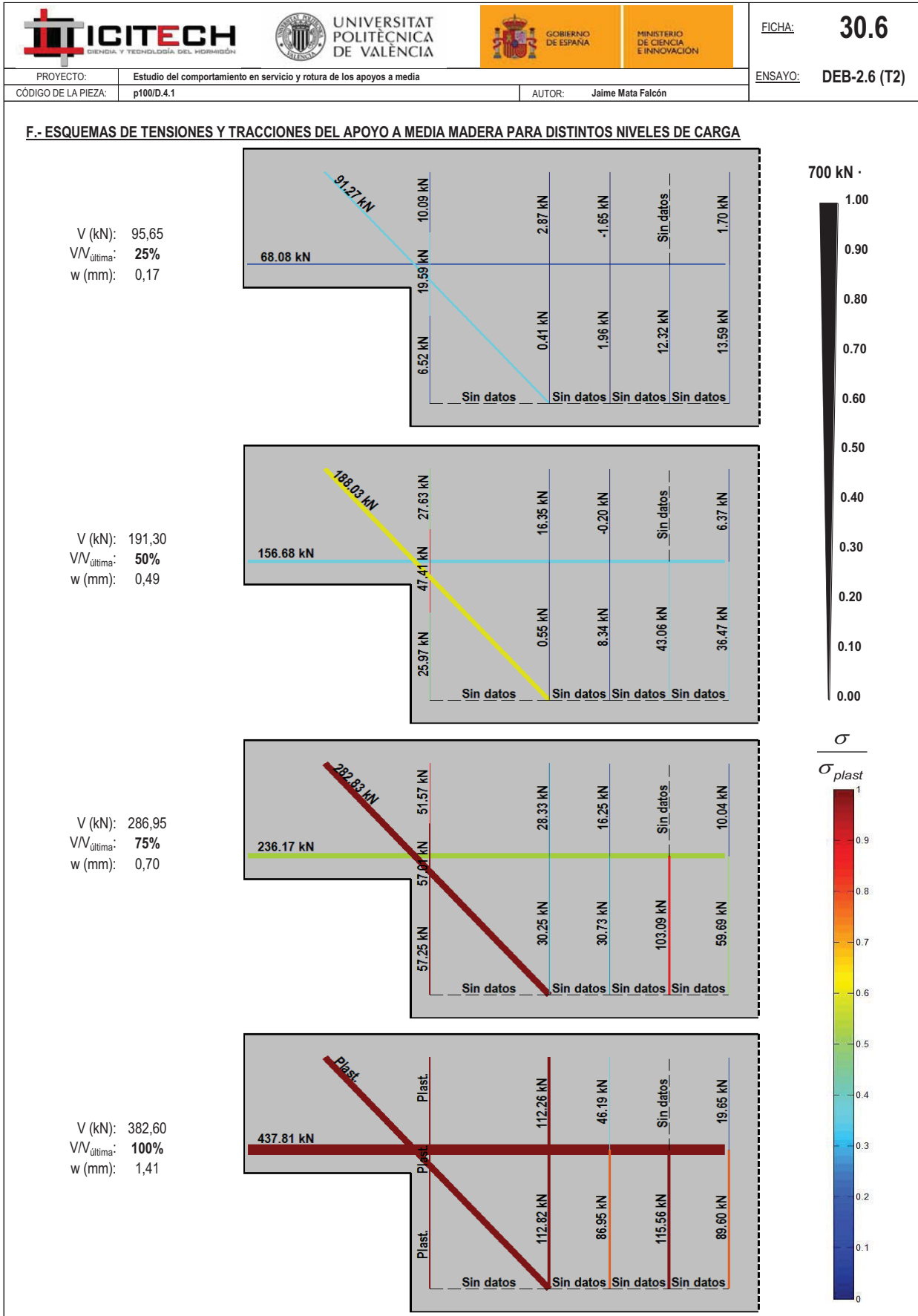
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
19,13	5%	0,00	0,20	0,03	0,05	-	-	0,05
38,26	10%	0,03	0,40	0,12	0,20	-	-	0,19
57,39	15%	0,07	0,60	0,21	0,39	-	-	0,39
76,52	20%	0,11	0,80	0,29	0,67	-	-	0,65
95,65	25%	0,17	1,02	0,42	0,97	-	-	0,89
114,78	30%	0,23	1,30	0,53	1,19	-	-	1,10
133,91	35%	0,28	1,57	0,63	1,43	-	-	1,29
153,04	40%	0,35	1,87	0,73	1,71	-	-	1,48
172,17	45%	0,44	2,21	0,86	2,10	-	-	1,65
191,30	50%	0,49	2,71	0,97	2,35	-	-	1,83
210,43	55%	0,52	3,42	1,05	2,65	-	-	2,04
229,56	60%	0,57	4,19	1,13	3,00	-	-	2,25
248,69	65%	0,61	4,94	1,23	3,33	-	-	2,46
267,82	70%	0,64	5,68	1,33	3,67	-	-	2,71
286,95	75%	0,70	6,50	1,47	4,26	-	-	3,39
306,08	80%	0,77	7,40	1,61	5,21	-	-	5,49
325,21	85%	0,84	8,64	1,85	7,76	-	-	-
344,34	90%	1,04	9,83	2,19	10,58	-	-	-
363,47	95%	1,23	11,03	2,57	-	-	-	-
382,60	100%	1,41	12,04	2,84	-	-	-	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	15,60	4,1%	0,00	0,16	0,02	0,04	-	-	0,03
Punto de cambio de rigidez	52,50	13,7%	0,06	0,55	0,18	0,34	-	-	0,34
Abertura de fisura 0,20 mm	104,65	27,4%	0,20	1,17	0,47	1,08	-	-	0,99
Abertura de fisura 0,40 mm	164,79	43,1%	0,40	2,07	0,81	1,97	-	-	1,58
Abertura de fisura 0,60 mm	244,59	63,9%	0,60	4,81	1,21	3,27	-	-	2,42
Abertura de fisura 0,80 mm	312,31	81,6%	0,80	7,84	1,68	5,80	-	-	6,65
Primera plastificación	215,73	56,4%	0,54	3,64	1,07	2,77	-	-	2,10

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



   		FICHA: 30.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-2.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







VISTA DEL LADO DORSAL TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se abren dos fisuras del vértice en la cara dorsal de la pieza, sin que exista un bisel que tienda a producirlas.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - De la esquina parten dos fisuras. La fisura superior es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - En el vértice arranca una fisura con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con los tirantes hacerse prácticamente horizontal y seguir al tirante horizontal. La otra fisura arranca más o menos horizontal, y tras atravesar el tirante inclinado tiende a subir ligeramente, hasta alcanzar el tirante horizontal y situarse más o menos paralelo a él.
 - Tras alcanzar la carga máxima, una fisura que partía del borde del apoyo comienza a abrirse de manera muy significativa.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: primeramente el tirante vertical, aproximadamente a la mitad de la carga máxima; posteriormente plastifica el tirante inclinado y por último, ya casi al alcanzarse la carga máxima lo hace el tirante horizontal, que se encontraba muy sobredimensionado.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo que produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima la pieza pierde rápidamente un 30% de su carga, sin que quede estabilizada claramente en un escalón determinado.

H.31 DEB-3.1 (T1)

				FICHA: 31.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.2/B
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 31/03/2011
 Edad (días): 21

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ10	Armado: 2φ12	Armado: 2φ12+1φ16
Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 2,26	Área (cm ²): 4,27
α: 39%	β: 42%	γ: 71%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN):	f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras
317,92	33,7	2,70	0,00%

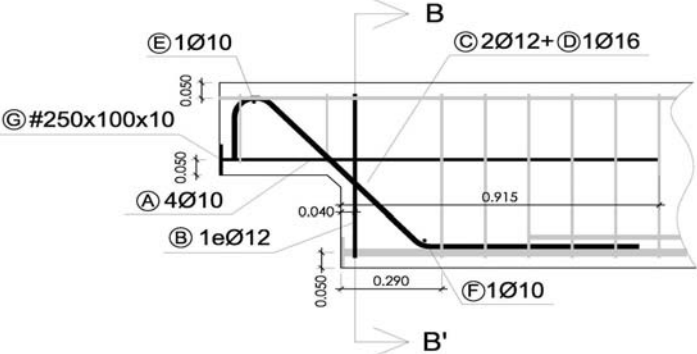
V (w=0,4 mm): 173,31 55%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

Variante 1: Biselado *Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto*
 Variante 2: -

f_{1,R} (Mpa) f_{3,R} (Mpa): - -

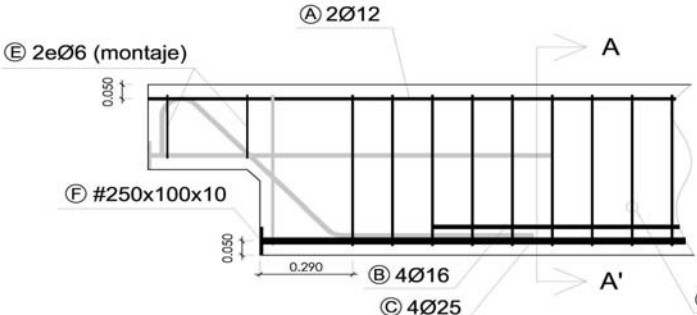
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

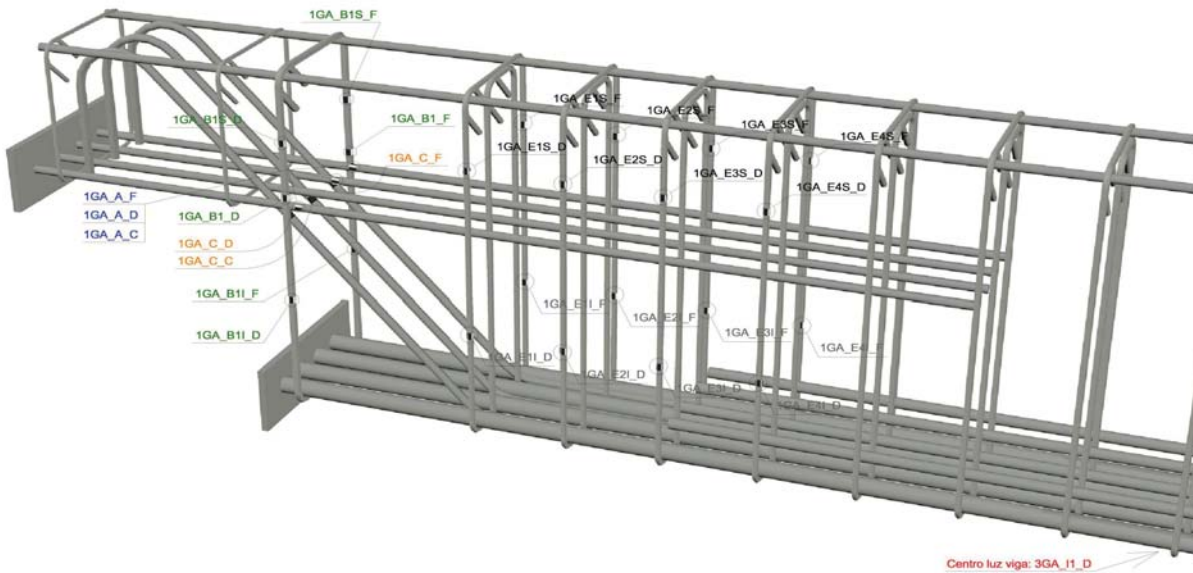
B2.- ARMADO DE LA VIGA



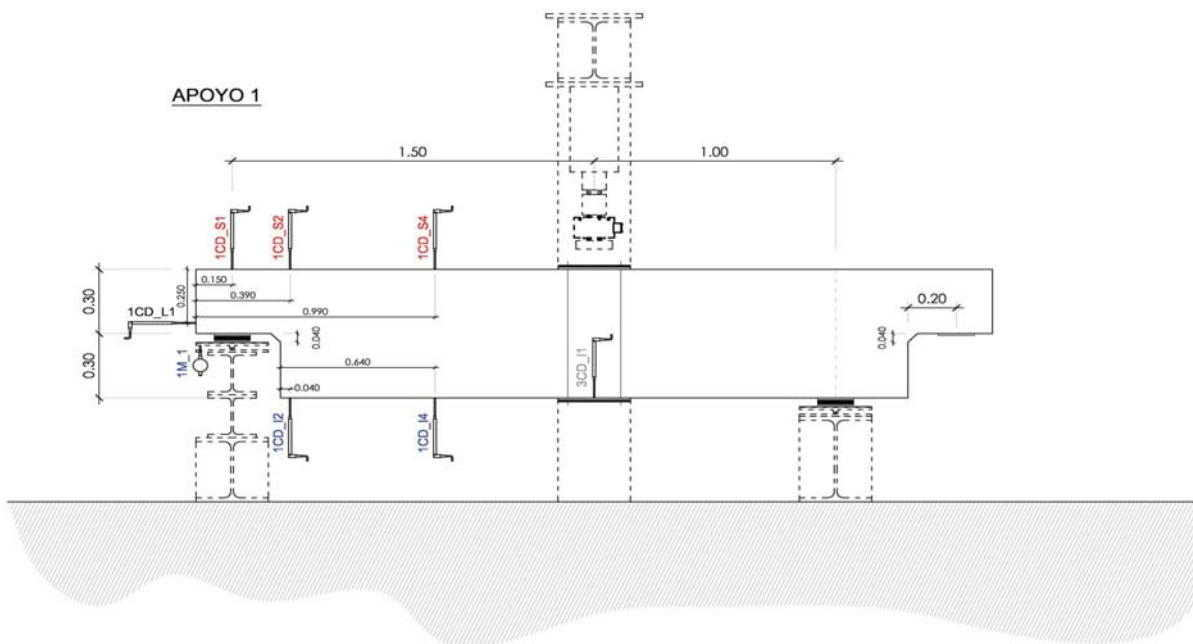
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



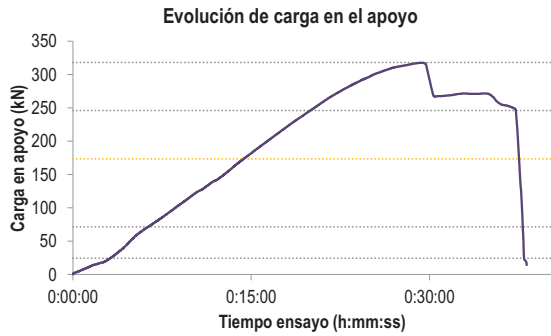
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



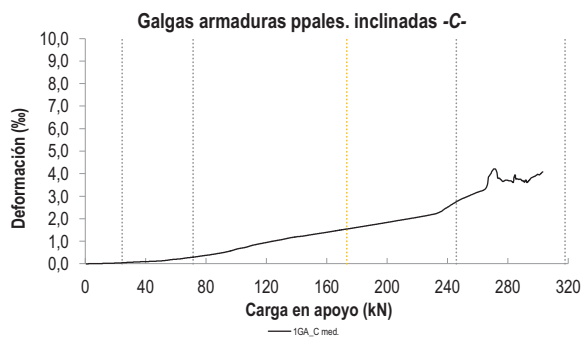
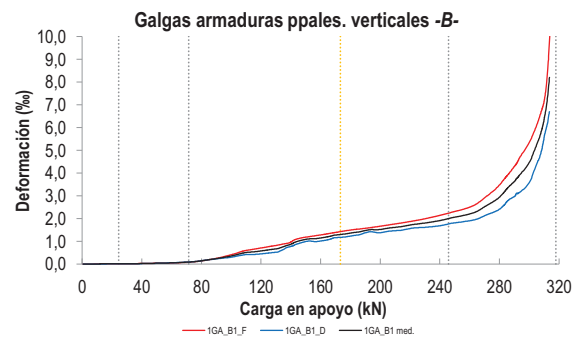
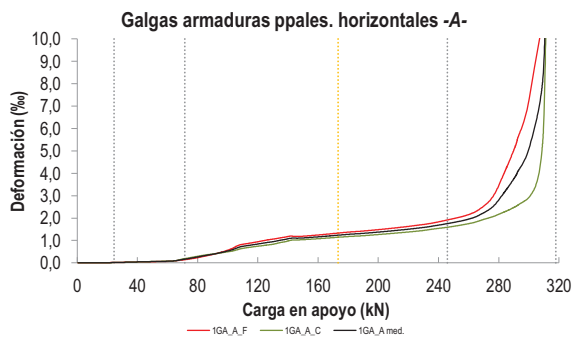
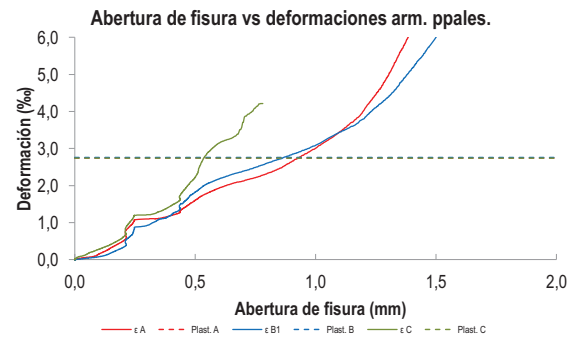
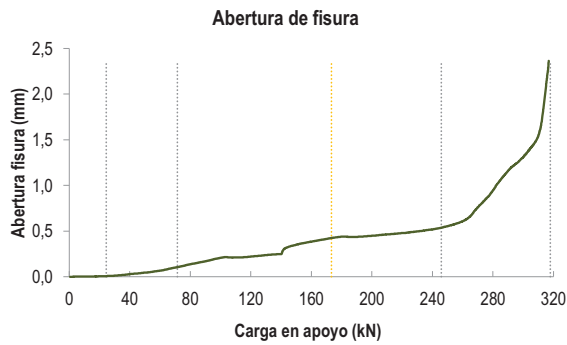
   		FICHA: 31.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

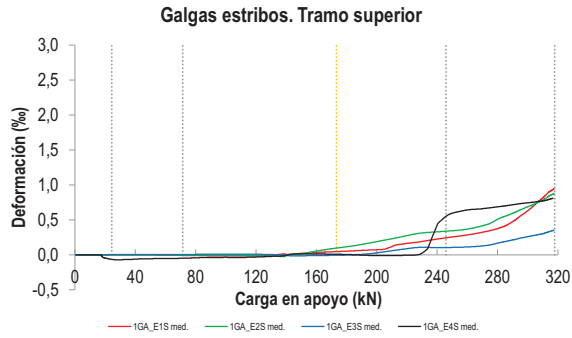


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE CAPTADOR DE DESPLAZAMIENTO SOBRE EL APOYO CONTRARIO AL ENSAYADO. NO PUEDE OBTENERSE LA FLECHA

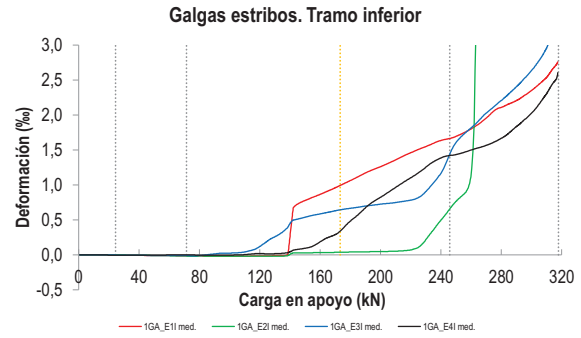


PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.2/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

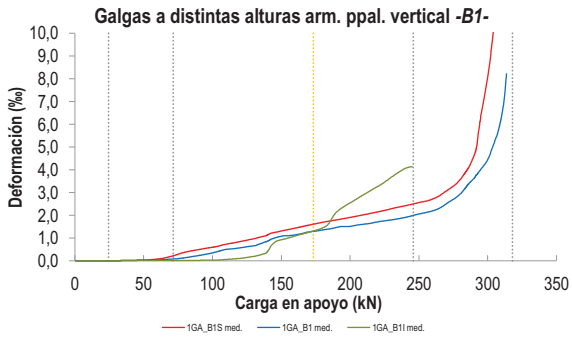
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 31.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.1 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.2/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
15,90	5%	0,00	-	0,01	0,01	-	-	0,02
31,79	10%	0,00	-	0,03	0,01	-	-	0,07
47,69	15%	0,04	-	0,06	0,03	-	-	0,12
63,58	20%	0,08	-	0,09	0,06	-	-	0,22
79,48	25%	0,13	-	0,26	0,14	-	-	0,37
95,38	30%	0,19	-	0,46	0,30	-	-	0,55
111,27	35%	0,21	-	0,75	0,51	-	-	0,82
127,17	40%	0,23	-	0,92	0,64	-	-	1,03
143,07	45%	0,30	-	1,10	0,95	-	-	1,22
158,96	50%	0,38	-	1,16	1,14	-	-	1,39
174,86	55%	0,43	-	1,25	1,31	-	-	1,56
190,75	60%	0,44	-	1,32	1,48	-	-	1,73
206,65	65%	0,46	-	1,42	1,59	-	-	1,91
222,55	70%	0,48	-	1,52	1,74	-	-	2,09
238,44	75%	0,51	-	1,67	1,89	-	-	2,43
254,34	80%	0,57	-	1,86	2,12	-	-	3,02
270,23	85%	0,76	-	2,26	2,52	-	-	3,88
286,13	90%	1,08	-	3,43	3,41	-	-	3,73
302,03	95%	1,36	-	5,84	4,91	-	-	3,95
317,92	100%	1,99	-	15,03	7,54	-	-	5,64

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

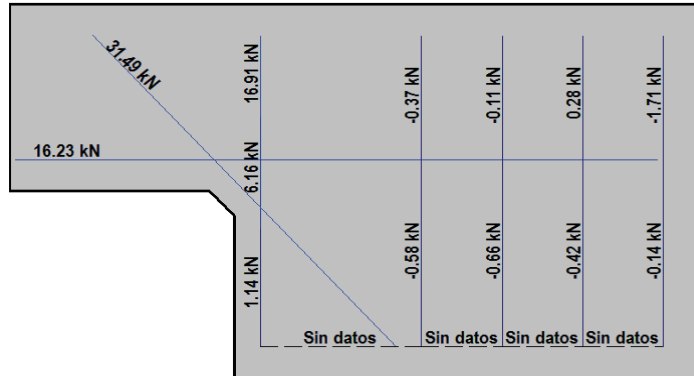
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	24,50	7,7%	0,00	-	0,02	0,01	-	-	0,04
Punto de cambio de rigidez	71,50	22,5%	0,11	-	0,17	0,09	-	-	0,29
Abertura de fisura 0,20 mm	106,18	33,4%	0,20	-	0,67	0,46	-	-	0,73
Abertura de fisura 0,40 mm	173,31	54,5%	0,40	-	1,23	1,29	-	-	1,54
Abertura de fisura 0,60 mm	255,83	80,5%	0,60	-	1,89	2,14	-	-	3,06
Abertura de fisura 0,80 mm	272,52	85,7%	0,80	-	2,35	2,61	-	-	3,92
Primera plastificación	245,89	77,3%	0,54	-	1,75	2,00	-	-	2,74

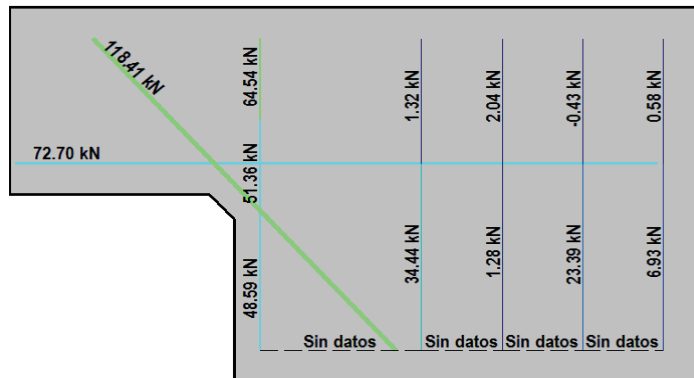
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

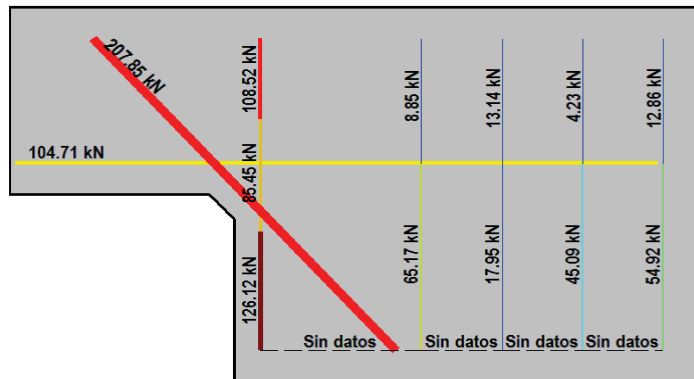
V (kN): 79,48
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,13



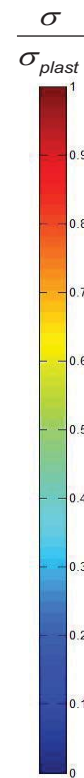
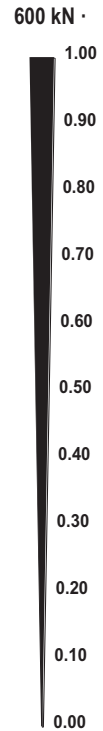
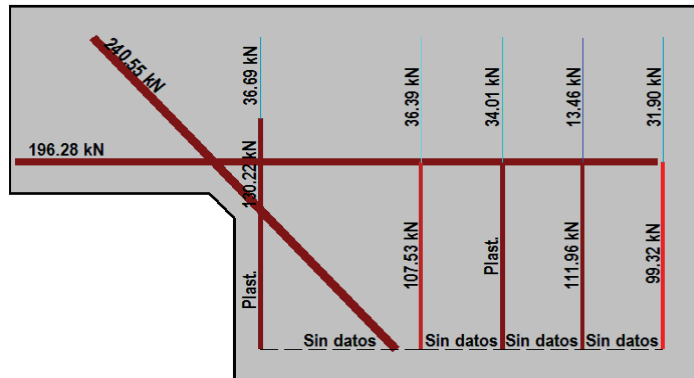
V (kN): 158,96
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,38







V (kN): 238,44
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,51




V (kN): 317,92
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 1,99




 		 		FICHA: 31.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.1 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

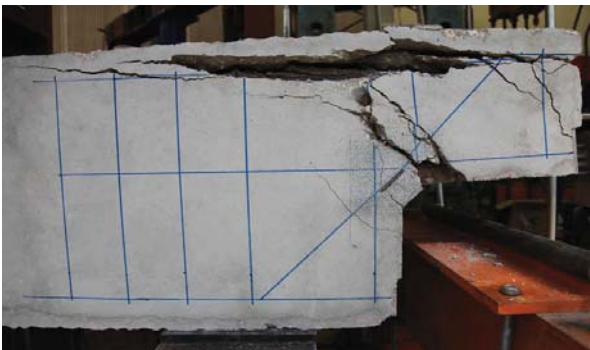
FISURACIÓN DEL APOYO AL 80% DE LA CARGA MÁXIMA




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







DETALLE DE LA FISURACIÓN EN EL BISEL TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Al calcularse la abertura de fisura como la envolvente de las aberturas de las distintas fisuras que se abren en la región, dicha abertura no es tan continua como en el caso en que sólo se abriría una fisura.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - En los dos vértices del bisel se abren fisuras en servicio. Ambas fisuras son más o menos paralelas y no se juntan.
 - Primeramente se abre la fisura de la esquina superior. Cuando se abre la fisura de la esquina inferior (a 100 kN), la abertura de la otra fisura cambia su tendencia y se estabiliza. Para unos 140 kN la fisura inferior empieza a tener una abertura superior a la de la fisura superior, tendencia que se mantiene hasta la rotura.
 - La fisura superior arranca con una inclinación de unos 60° respecto a la horizontal, para al encontrarse con el tirante horizontal tomar una inclinación de unos 45°. Finalmente se arquea hasta situarse de manera paralela a la armadura superior.
 - La fisura inferior parte con una inclinación de unos 45° y se divide en varias fisuras al encontrarse con la armadura inclinada.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: primeramente el tirante inclinado y algo después los tirantes vertical y horizontal simultáneamente.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de las fisuras que parten de los vértices del bisel, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima la pieza pierde el 16% de su carga. La carga se estabiliza durante bastante tiempo en este valor.

H.32 DEB-3.1 (T2)

				FICHA: 32.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.2/B
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 01/04/2011
 Edad (días): 22

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ10	Armado: 2φ12	Armado: 2φ12+1φ16
Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 2,26	Área (cm ²): 4,27
α: 39%	β: 42%	γ: 71%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

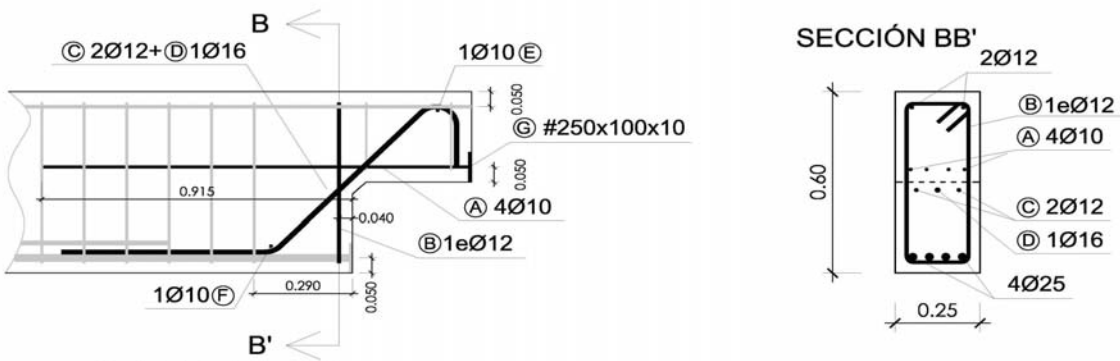
V última (kN): 340,22
 V (w=0,4 mm) (kN): 199,94 59%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto	Variante 2:
			-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
33,7	2,70	0,00%	- -

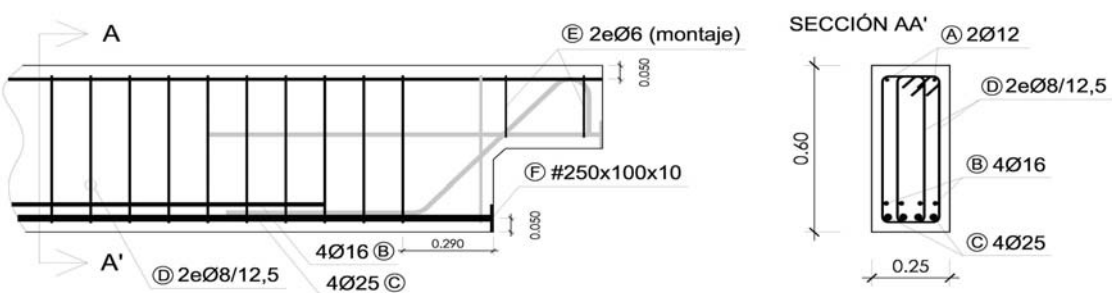
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

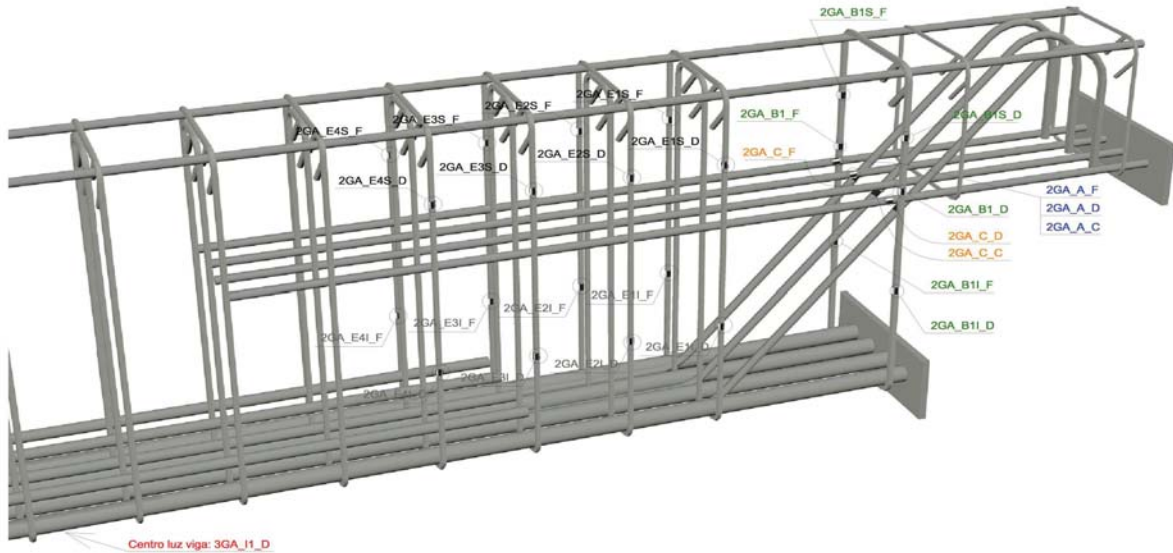
B2.- ARMADO DE LA VIGA



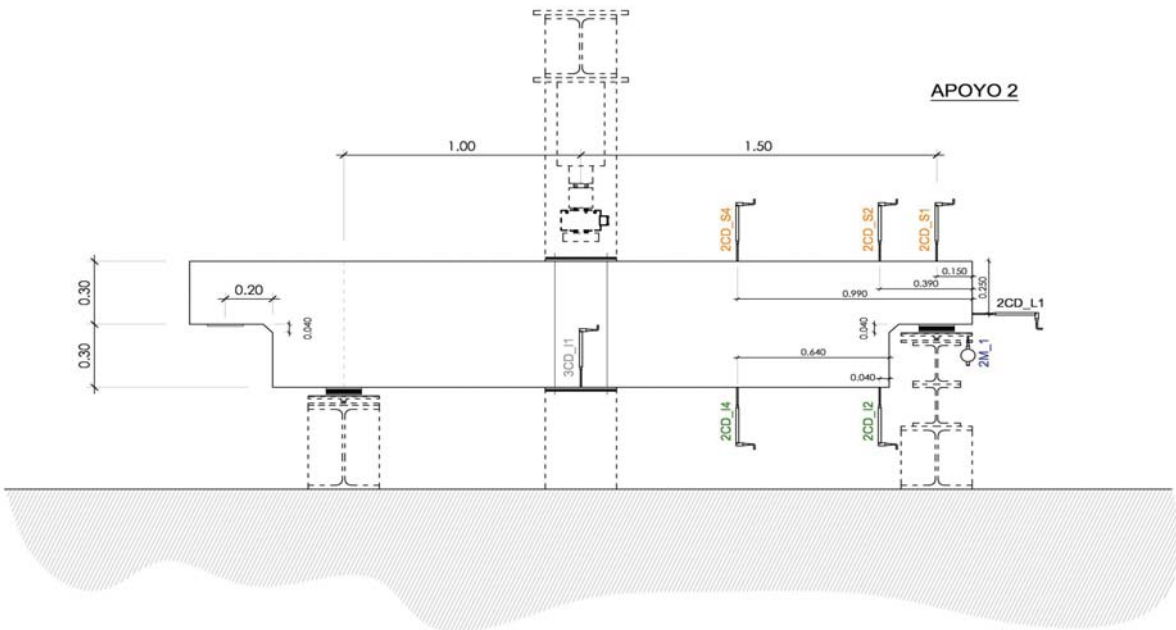
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

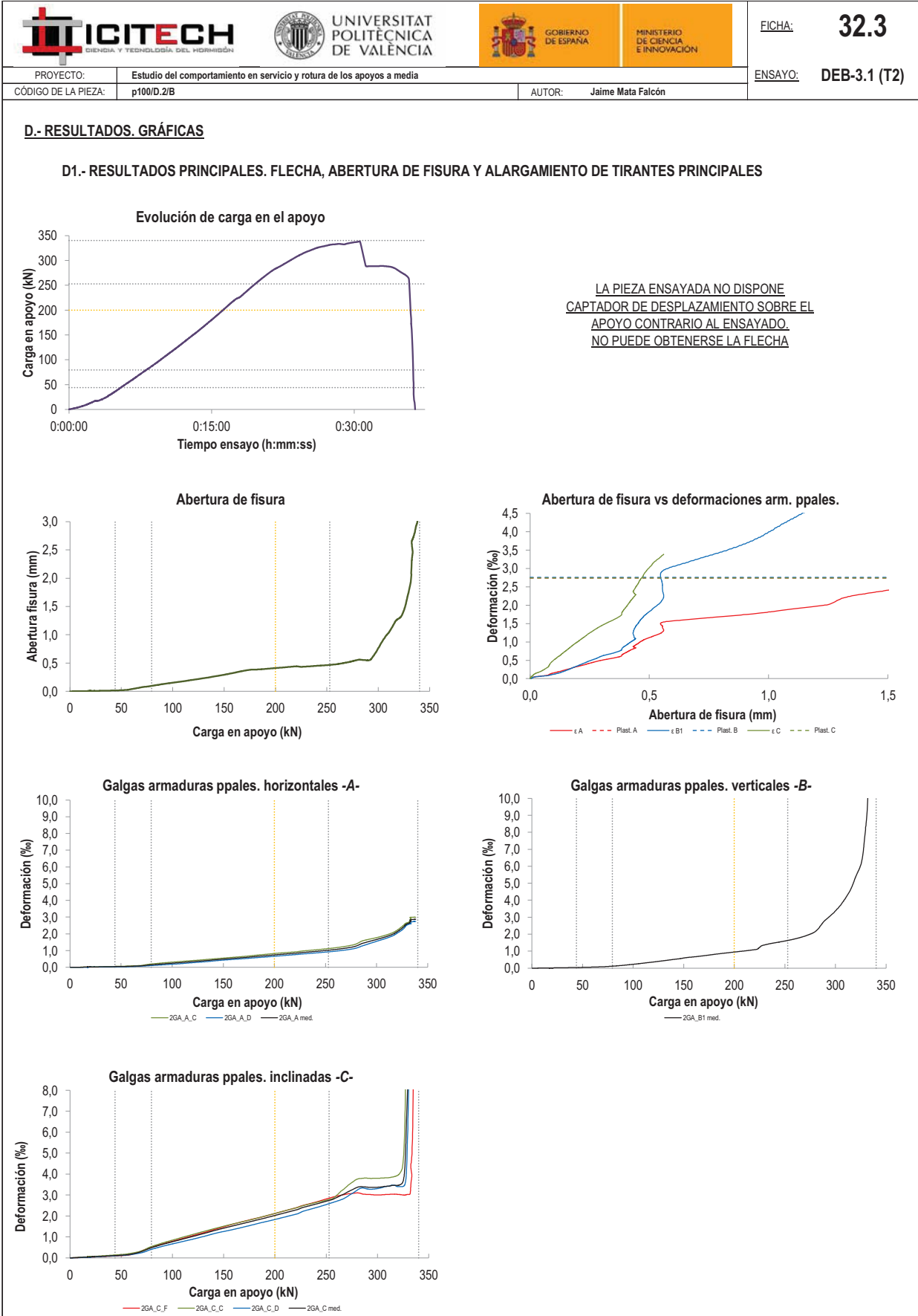
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



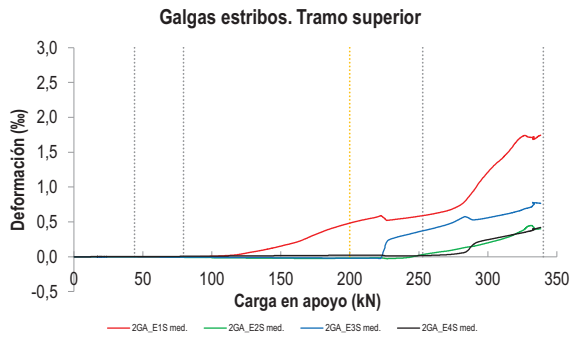
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



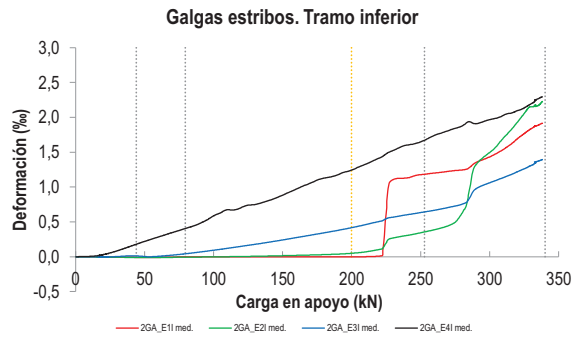


   		FICHA: 32.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

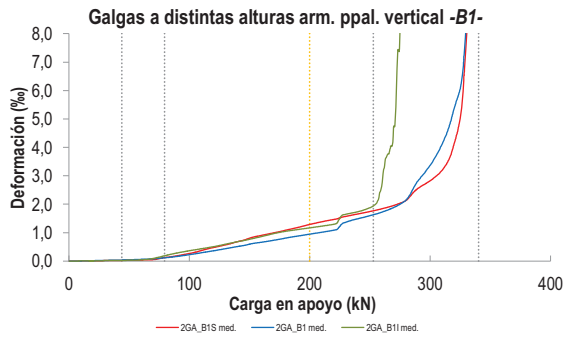
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 32.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.2/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
17,01	5%	0,00	-	0,01	0,01	-	-	0,04
34,02	10%	0,00	-	0,03	0,03	-	-	0,08
51,03	15%	0,02	-	0,05	0,05	-	-	0,13
68,04	20%	0,07	-	0,08	0,08	-	-	0,27
85,06	25%	0,11	-	0,18	0,14	-	-	0,57
102,07	30%	0,16	-	0,26	0,24	-	-	0,80
119,08	35%	0,20	-	0,34	0,36	-	-	1,02
136,09	40%	0,25	-	0,42	0,48	-	-	1,24
153,10	45%	0,30	-	0,51	0,62	-	-	1,46
170,11	50%	0,37	-	0,58	0,73	-	-	1,66
187,12	55%	0,39	-	0,67	0,86	-	-	1,86
204,13	60%	0,42	-	0,76	0,97	-	-	2,08
221,15	65%	0,44	-	0,85	1,13	-	-	2,31
238,16	70%	0,45	-	0,94	1,47	-	-	2,54
255,17	75%	0,47	-	1,04	1,66	-	-	2,78
272,18	80%	0,52	-	1,17	1,94	-	-	3,18
289,19	85%	0,56	-	1,48	2,74	-	-	3,38
306,20	90%	0,94	-	1,78	3,83	-	-	3,40
323,21	95%	1,45	-	2,32	6,19	-	-	4,46
340,22	100%	2,81	-	2,85	16,37	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

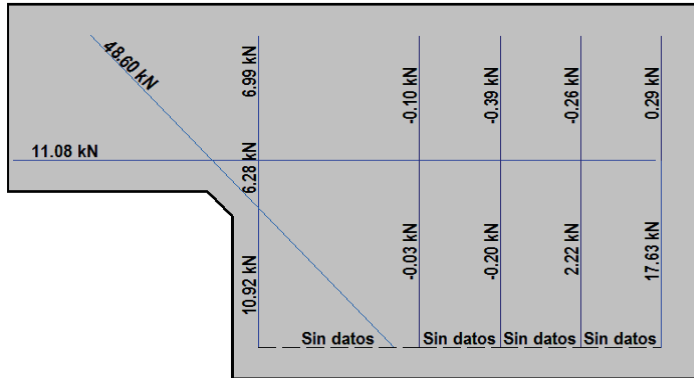
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	44,00	12,9%	0,00	-	0,04	0,04	-	-	0,11
Punto de cambio de rigidez	79,50	23,4%	0,10	-	0,15	0,12	-	-	0,49
Abertura de fisura 0,20 mm	118,39	34,8%	0,20	-	0,33	0,35	-	-	1,01
Abertura de fisura 0,40 mm	199,94	58,8%	0,40	-	0,74	0,95	-	-	2,03
Abertura de fisura 0,60 mm	286,70	84,3%	0,60	-	1,43	2,59	-	-	3,39
Abertura de fisura 0,80 mm	301,27	88,5%	0,80	-	1,69	3,46	-	-	3,38
Primera plastificación	252,82	74,3%	0,47	-	1,02	1,63	-	-	2,75

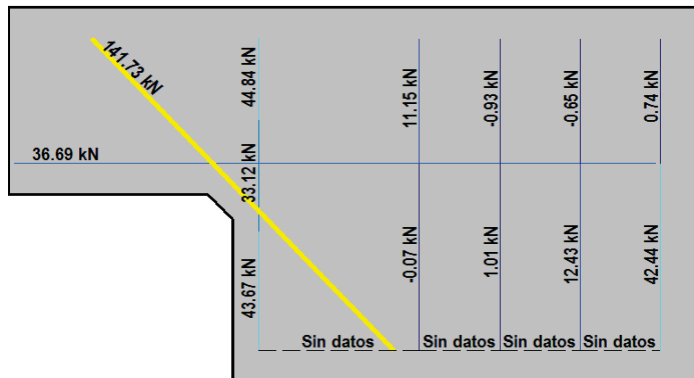
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

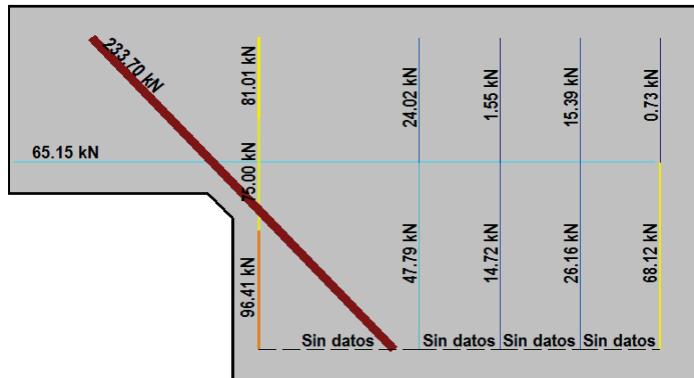
V (kN): 85,06
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,11



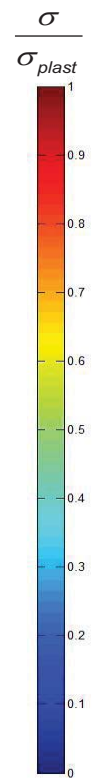
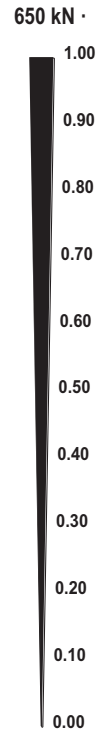
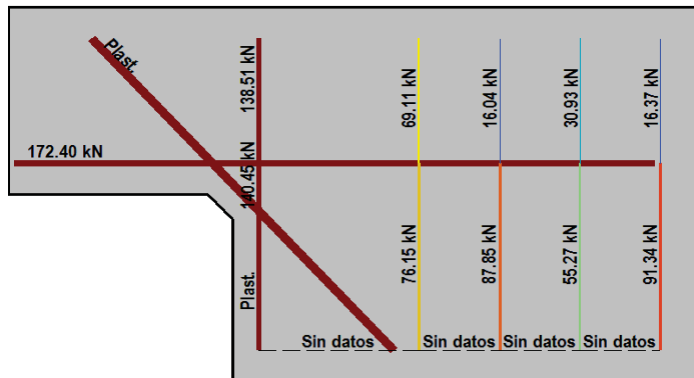
V (kN): 170,11
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,37




V (kN): 255,17
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,47




V (kN): 340,22
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,81



 		 		FICHA: 32.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.2/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN EN EL BISEL A LA CARGA MÁXIMA




VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA







DETALLE DE LA PARTE INFERIOR DEL APOYO TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Se abren de manera prácticamente simultánea las fisuras que parten desde los dos vértices del bisel, sin llegar a juntarse. La fisura que parte del vértice inferior tiene siempre una abertura ligeramente superior que la fisura del vértice superior. Únicamente cerca de la carga máxima la diferencia se hace bastante grande.
 - La fisura inferior arranca con una inclinación de unos 30° con la horizontal, pero al atravesar las armaduras se hace ligeramente más vertical, hasta los 45° de inclinación aproximadamente. La fisura del vértice superior tiene una inclinación de unos 45°.
 - También aparece una fisura por debajo del bisel, con una abertura ligeramente inferior a la que parte del vértice inferior del bisel.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura desde el borde del apoyo, que se junta con la fisura del vértice superior del bisel y acaban alineándose con la armadura superior de la viga y produciendo el desprendimiento del recubrimiento.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: primero el tirante inclinado, después el vertical y cerca de la rotura el horizontal.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de las fisuras que parten de la esquina superior del bisel y de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La carga cae un 15% tras alcanzarse la carga máxima.

H.33 DEB-3.2 (T1)

				FICHA: 33.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.3/B
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 11/04/2011
 Edad (días): 32

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 2φ8+2φ6	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 1.57	Área (cm ²): 1.01	Área (cm ²): 5.15
α: 20%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

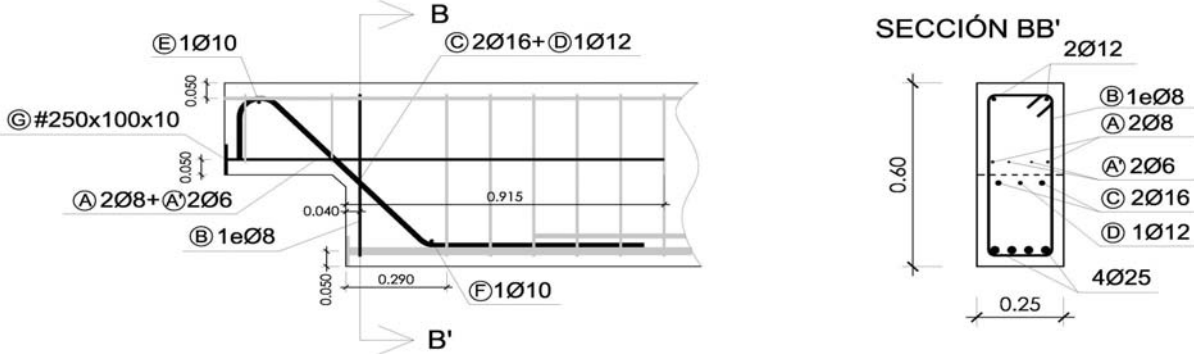
V última (kN): 312.02
 V (w=0,4 mm) (kN): 203.32 65%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto	-
Variante 2:	-	-	-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
37.2	4.02	0.00%	- -

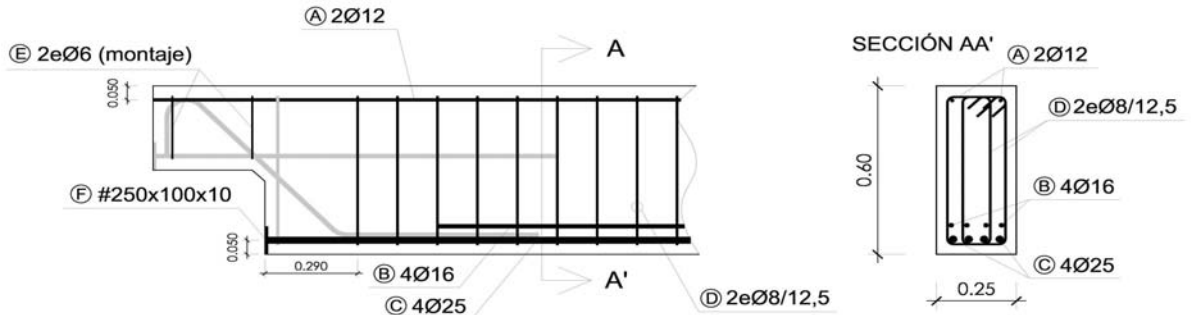
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

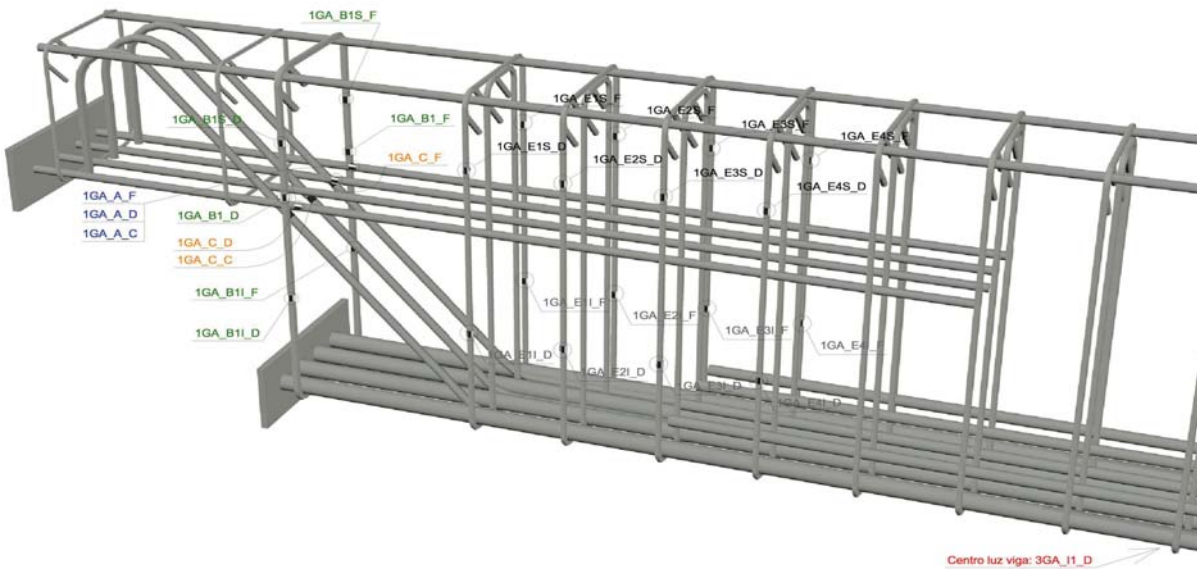
B2.- ARMADO DE LA VIGA



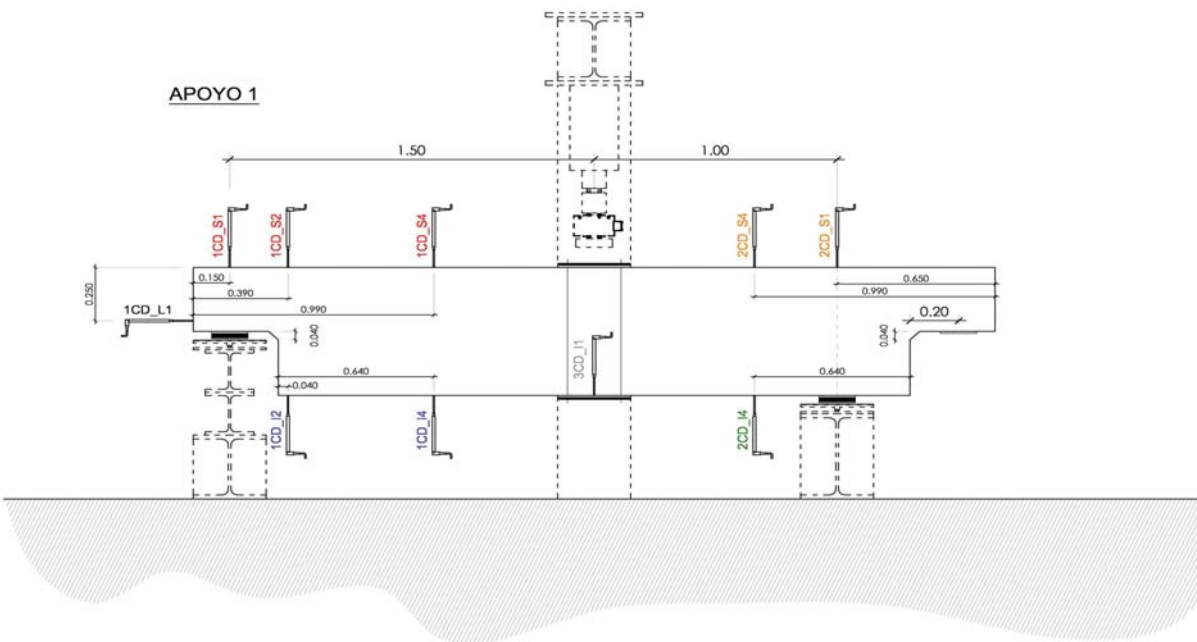
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



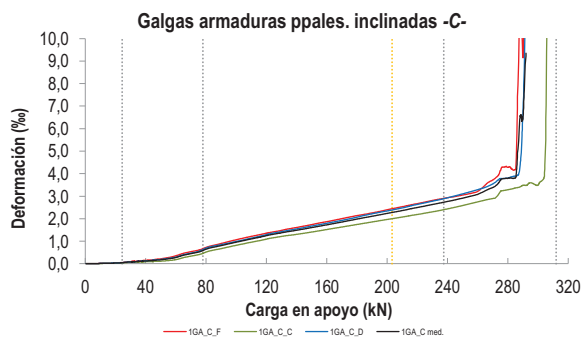
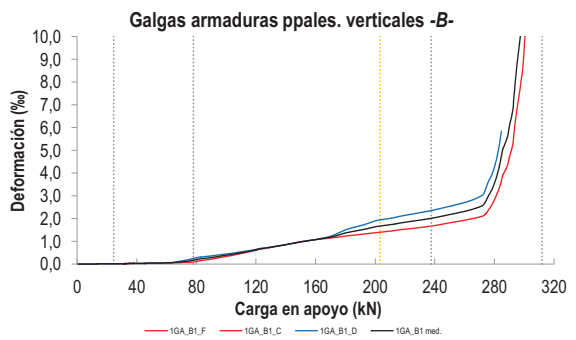
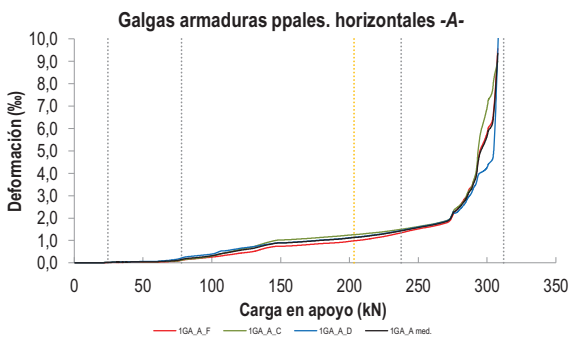
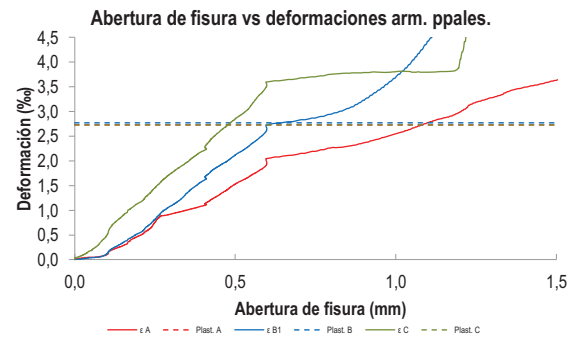
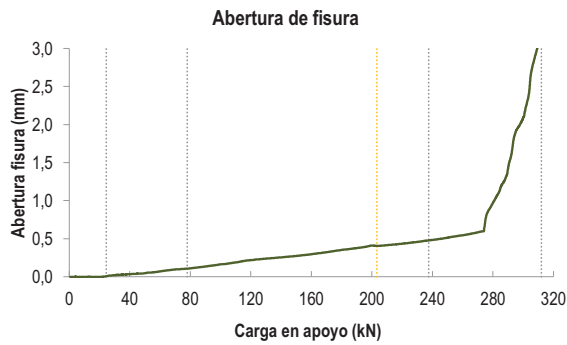
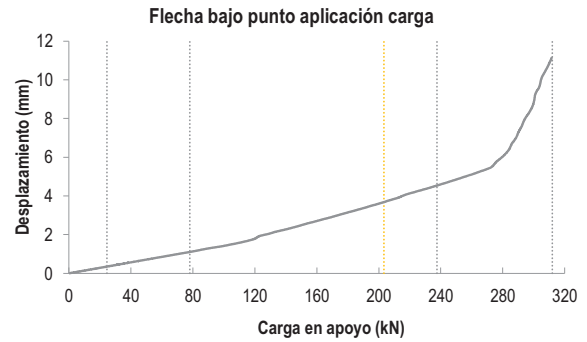
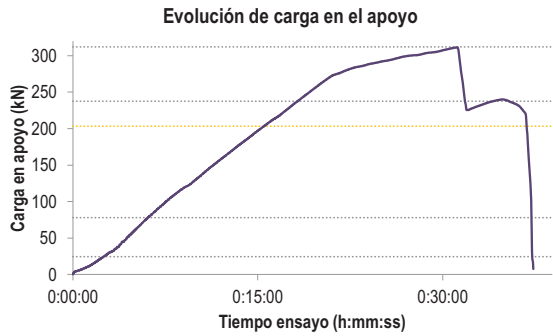
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 33.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

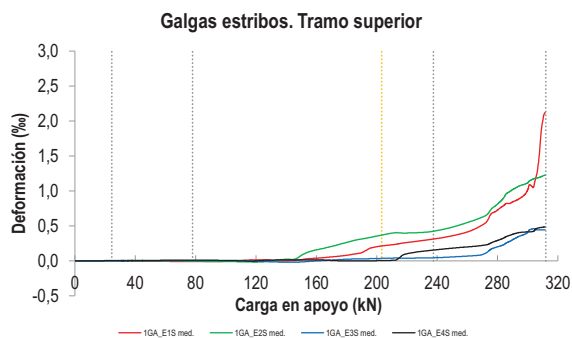
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

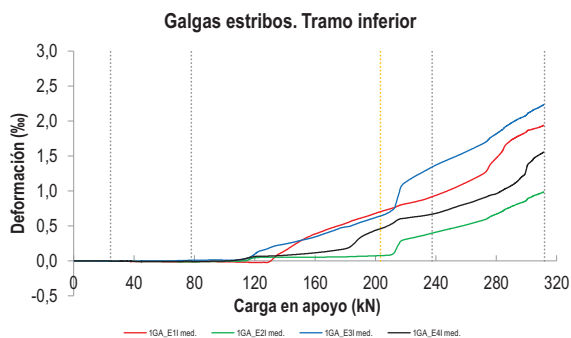


   		FICHA: 33.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

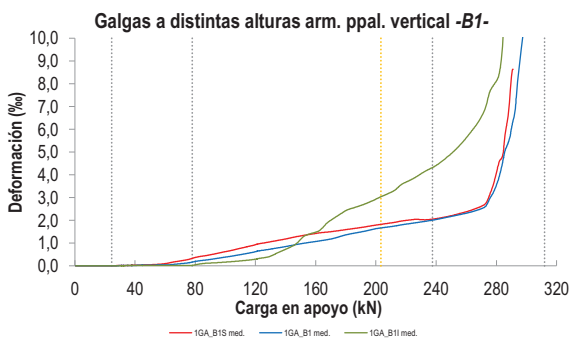
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

				FICHA: 33.5
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
15,60	5%	0,00	0,22	0,01	0,01	-	-	0,02
31,20	10%	0,02	0,44	0,03	0,02	-	-	0,09
46,80	15%	0,04	0,67	0,05	0,03	-	-	0,16
62,40	20%	0,08	0,88	0,06	0,05	-	-	0,32
78,00	25%	0,11	1,10	0,15	0,17	-	-	0,59
93,60	30%	0,14	1,33	0,27	0,32	-	-	0,86
109,21	35%	0,19	1,56	0,44	0,49	-	-	1,09
124,81	40%	0,23	1,96	0,60	0,69	-	-	1,31
140,41	45%	0,26	2,28	0,81	0,85	-	-	1,49
156,01	50%	0,29	2,62	0,90	1,04	-	-	1,68
171,61	55%	0,33	2,95	0,97	1,21	-	-	1,87
187,21	60%	0,37	3,30	1,04	1,46	-	-	2,07
202,81	65%	0,41	3,67	1,13	1,66	-	-	2,27
218,41	70%	0,43	4,08	1,24	1,82	-	-	2,47
234,01	75%	0,47	4,45	1,39	1,97	-	-	2,68
249,61	80%	0,51	4,84	1,57	2,17	-	-	2,91
265,21	85%	0,56	5,26	1,76	2,41	-	-	3,25
280,81	90%	1,03	6,21	2,64	4,02	-	-	3,85
296,41	95%	1,93	8,36	5,06	10,03	-	-	8,38
312,02	100%	2,97	10,66	8,36	18,38	-	-	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

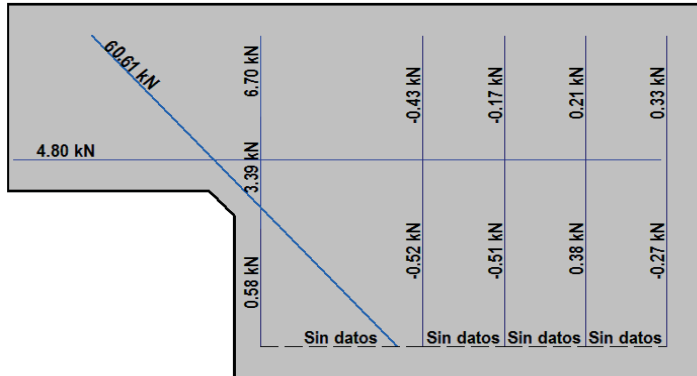
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	24,50	7,9%	0,00	0,35	0,02	0,01	-	-	0,05
Punto de cambio de rigidez	78,00	25,0%	0,11	1,10	0,15	0,17	-	-	0,59
Abertura de fisura 0,20 mm	114,58	36,7%	0,20	1,67	0,50	0,55	-	-	1,17
Abertura de fisura 0,40 mm	203,32	65,2%	0,40	3,68	1,13	1,67	-	-	2,28
Abertura de fisura 0,60 mm	267,02	85,6%	0,60	5,31	1,79	2,45	-	-	3,30
Abertura de fisura 0,80 mm	275,99	88,5%	0,80	5,77	2,24	3,06	-	-	3,69
Primera plastificación	237,56	76,1%	0,48	4,54	1,43	2,01	-	-	2,73

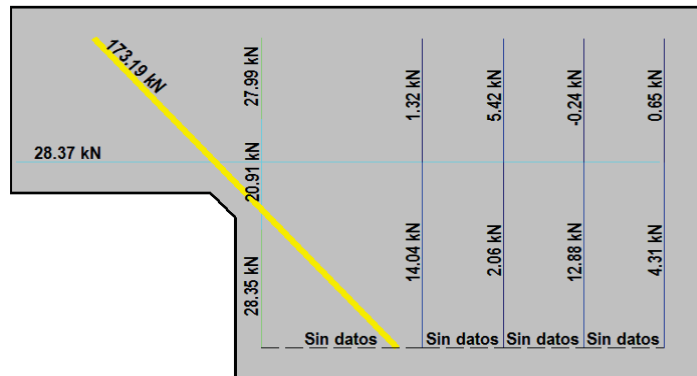
Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

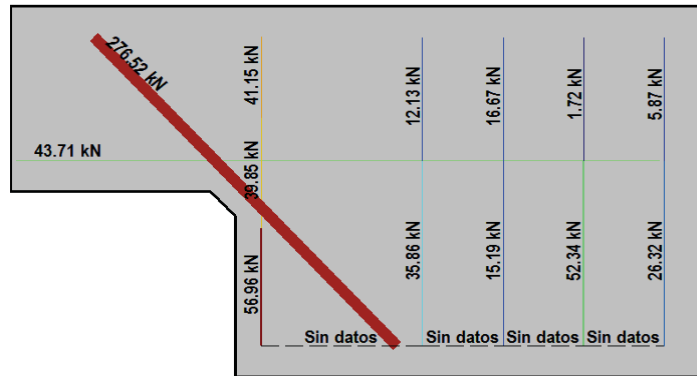
V (kN): 78,00
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,11



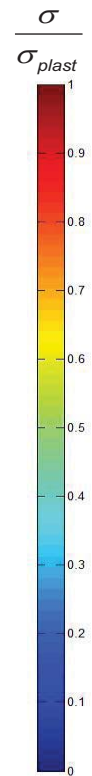
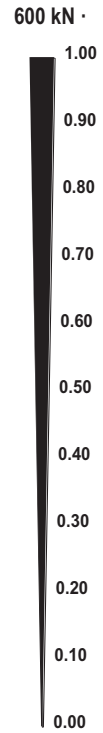
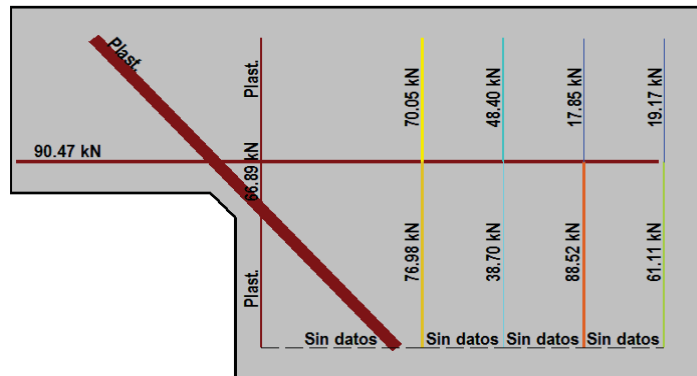
V (kN): 156,01
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,29



V (kN): 234,01
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,47



V (kN): 312,02
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 2,97



   		FICHA: 33.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



LADO DORSAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:





- Las fisuras que parten de los vértices del bisel son las más condicionantes en servicio. Ambas presentan en todo momento una abertura bastante similar. La abertura de fisura representativa se obtiene como la envolvente de ambas aberturas.
- Estas fisuras tienen una inclinación de unos 45° y permanecen en todo momento bastante paralelas y no se juntan.
- En servicio también aparecen dos fisuras que parten del paramento vertical que define el cambio de canto. Parten con una inclinación de unos 30° con la horizontal y al encontrarse con la armadura inclinada se verticalizan hasta tomar una inclinación de unos 45°.
- Al alcanzar la carga máxima se abre súbitamente una pequeña fisura que partía del borde del neopreno.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales, primeramente el tirante inclinado y algo después el tirante vertical y el tirante horizontal, casi a la misma carga.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, que al llegar a la altura de la armadura superior produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima la pieza pierde de manera súbita sobre una cuarta parte de su resistencia al desprenderse el recubrimiento superior de hormigón. La carga queda estabilizada en este valor.

H.34 DEB-3.2 (T2)

				FICHA: 34.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.3/B
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 13/04/2011
 Edad (días): 34

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 2φ8+2φ6	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 1,57	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 20%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

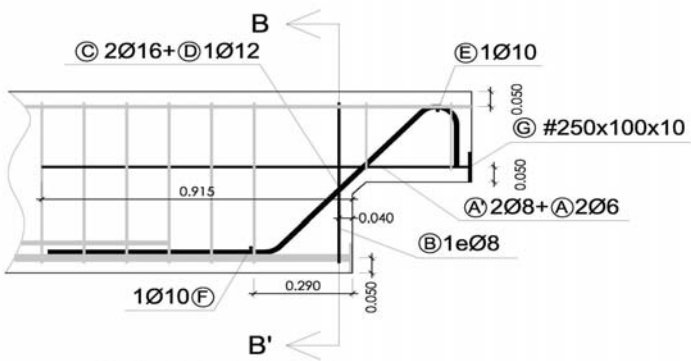
Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
Variante 2:	-	-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
37,2	4,02	0,00%	- -

V última (kN): 318,58
 V (w=0,4 mm) (kN): 192,57 60%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

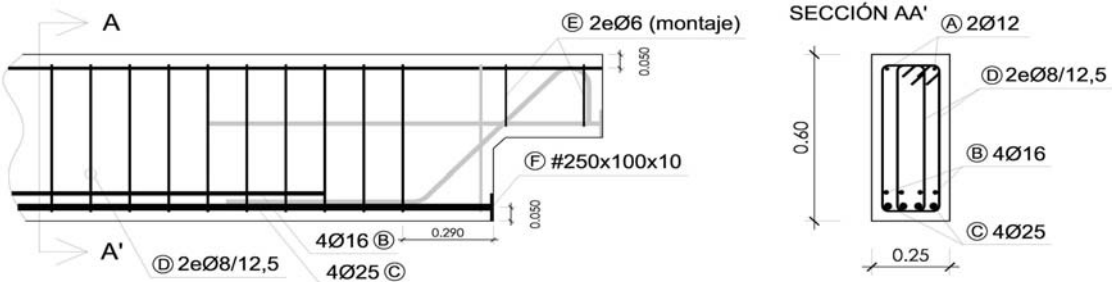
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

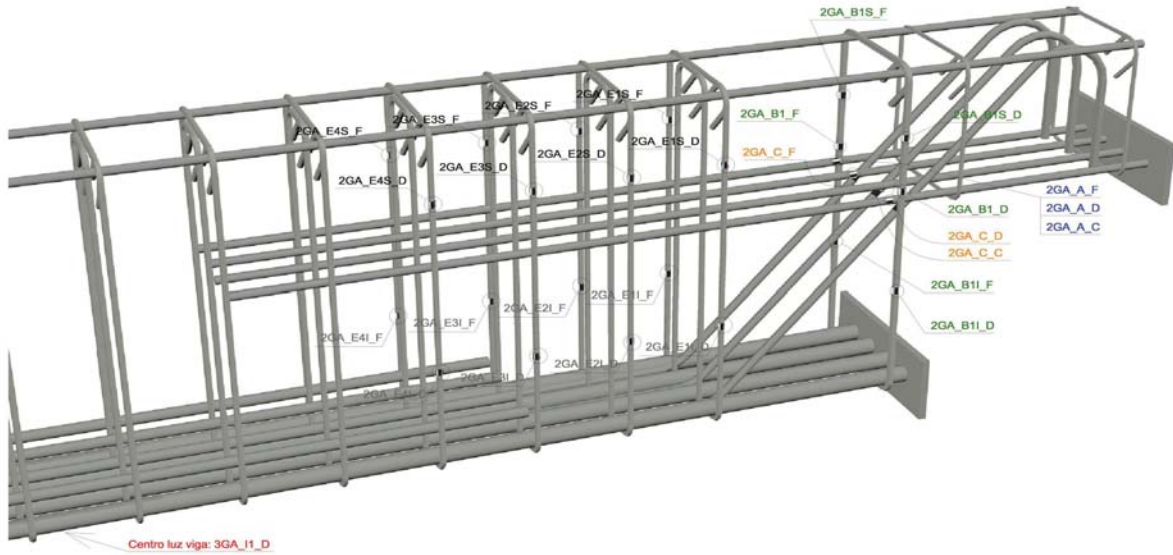
B2.- ARMADO DE LA VIGA



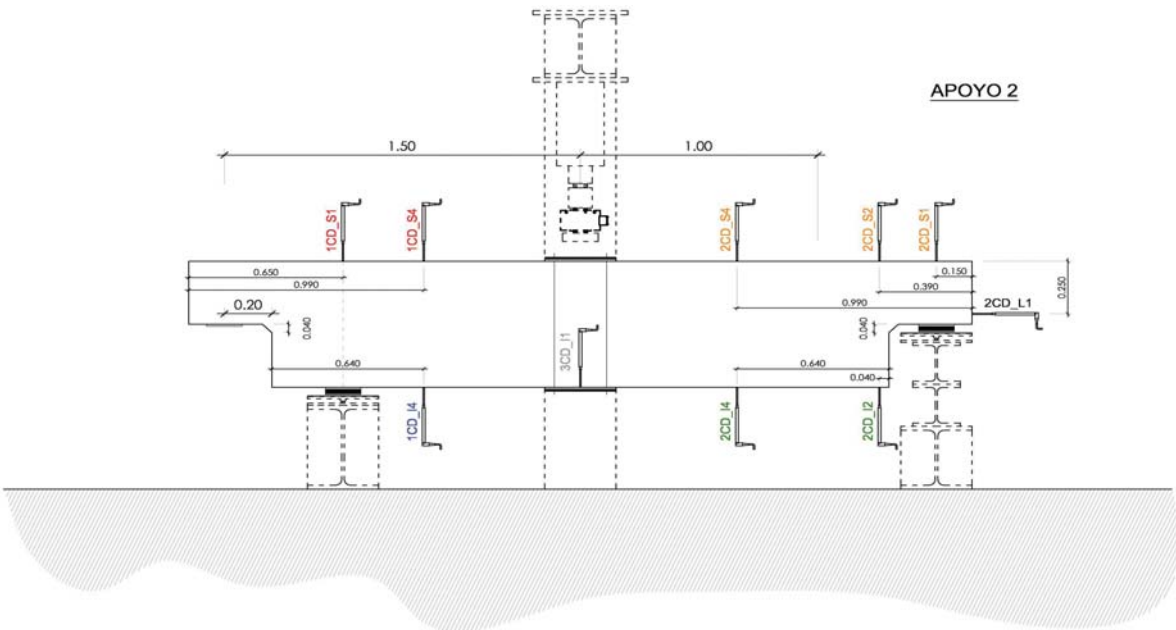
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



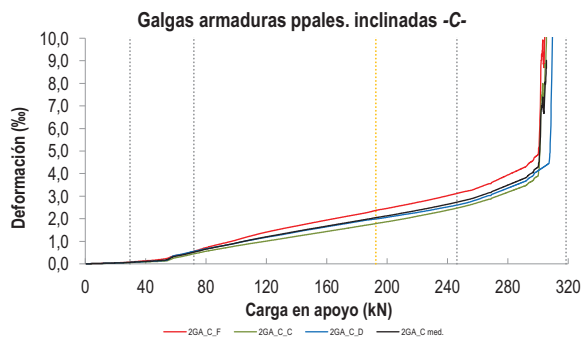
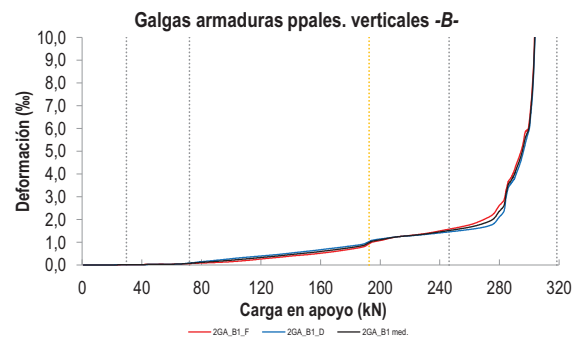
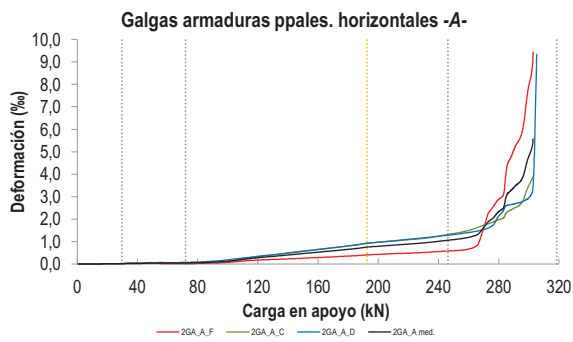
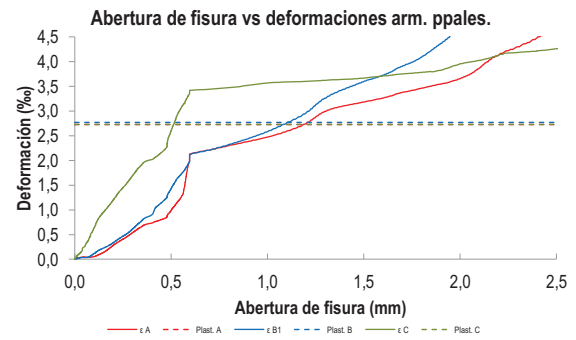
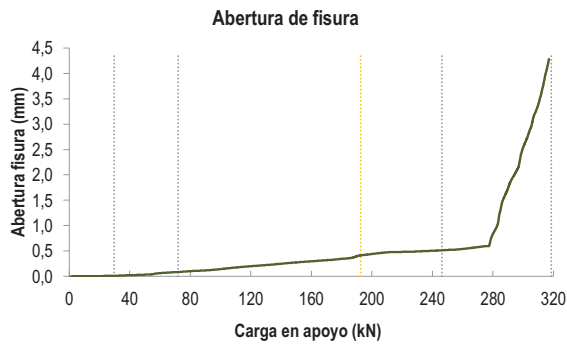
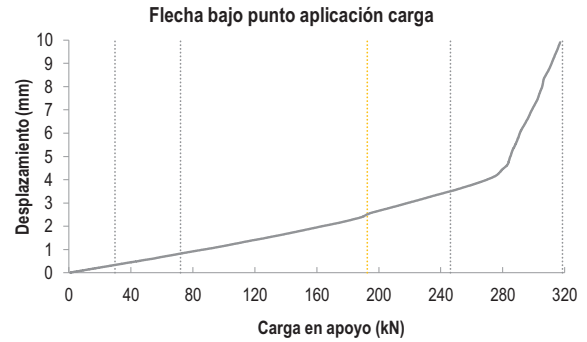
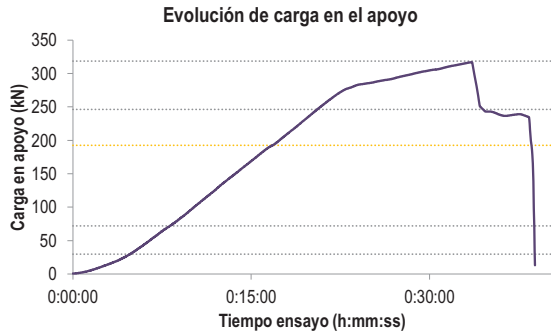
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA

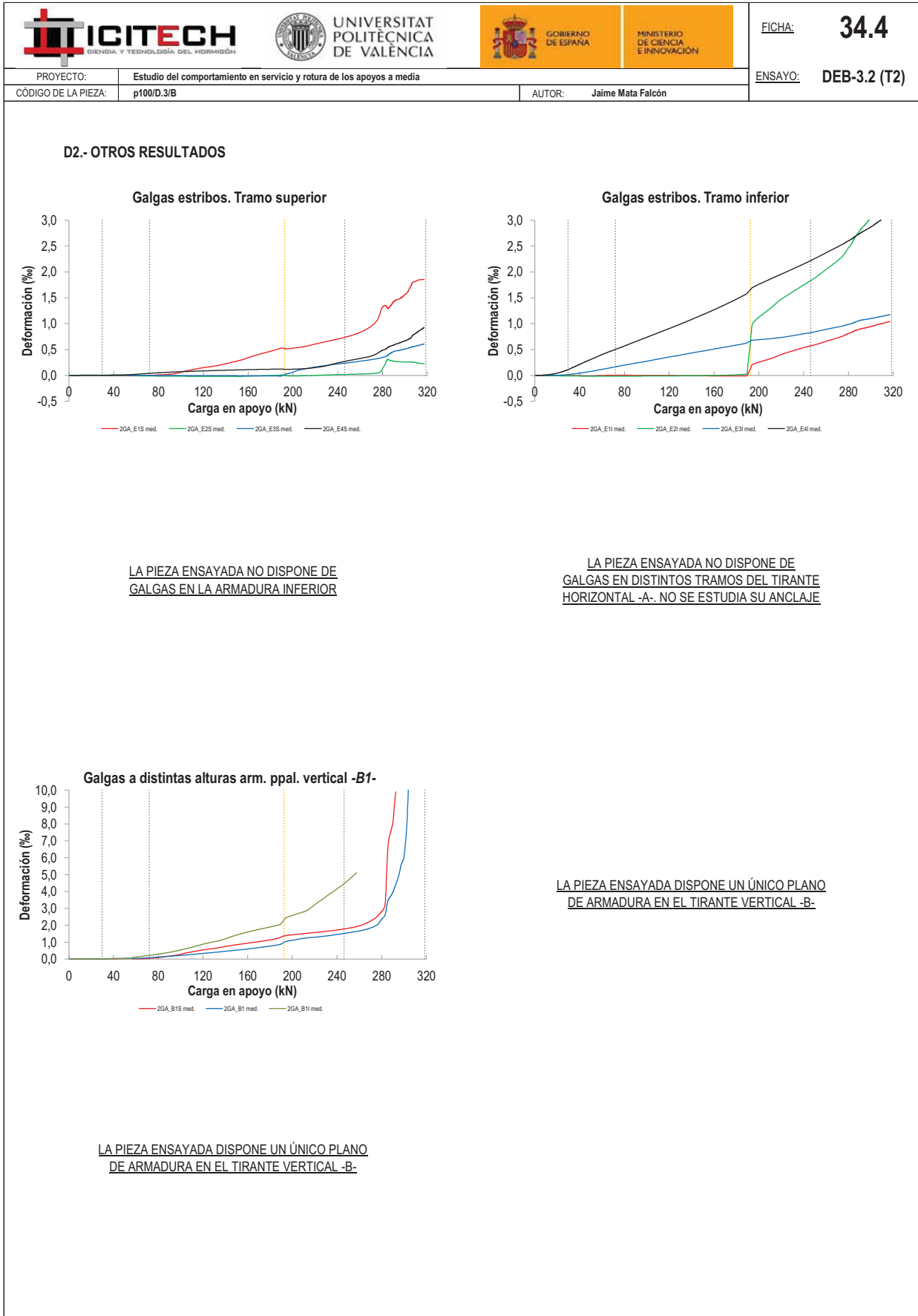


   		FICHA: 34.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES





   		FICHA: 34.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.2 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.3/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
15,93	5%	0,00	0,18	0,01	0,01	-	-	0,03
31,86	10%	0,00	0,36	0,02	0,02	-	-	0,08
47,79	15%	0,03	0,54	0,04	0,03	-	-	0,14
63,72	20%	0,07	0,73	0,04	0,04	-	-	0,39
79,65	25%	0,10	0,91	0,05	0,12	-	-	0,64
95,57	30%	0,13	1,10	0,10	0,19	-	-	0,86
111,50	35%	0,18	1,30	0,22	0,28	-	-	1,09
127,43	40%	0,22	1,50	0,33	0,38	-	-	1,29
143,36	45%	0,26	1,71	0,42	0,48	-	-	1,48
159,29	50%	0,29	1,94	0,52	0,59	-	-	1,66
175,22	55%	0,33	2,16	0,62	0,72	-	-	1,84
191,15	60%	0,40	2,46	0,74	0,94	-	-	2,03
207,08	65%	0,46	2,79	0,82	1,20	-	-	2,21
223,01	70%	0,48	3,08	0,90	1,31	-	-	2,41
238,94	75%	0,50	3,37	1,00	1,45	-	-	2,62
254,86	80%	0,53	3,67	1,13	1,61	-	-	2,87
270,79	85%	0,58	4,04	1,70	1,88	-	-	3,24
286,72	90%	1,48	5,34	3,11	3,52	-	-	3,68
302,65	95%	2,76	7,62	4,72	9,27	-	-	5,89
318,58	100%	3,96	9,50	-	12,90	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

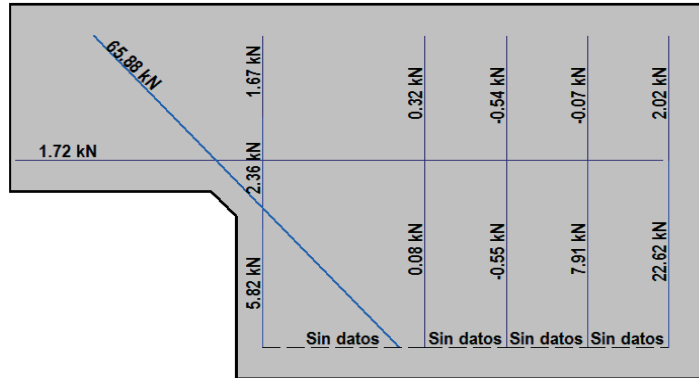
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	29,70	9,3%	0,00	0,34	0,02	0,01	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	72,00	22,6%	0,09	0,83	0,05	0,08	-	-	0,52
Abertura de fisura 0,20 mm	120,70	37,9%	0,20	1,42	0,29	0,34	-	-	1,21
Abertura de fisura 0,40 mm	192,57	60,4%	0,40	2,49	0,75	0,97	-	-	2,04
Abertura de fisura 0,60 mm	270,21	84,8%	0,60	4,02	1,66	1,86	-	-	3,23
Abertura de fisura 0,80 mm	279,59	87,8%	0,80	4,54	2,43	2,52	-	-	3,51
Primera plastificación	246,27	77,3%	0,51	3,50	1,06	1,52	-	-	2,73

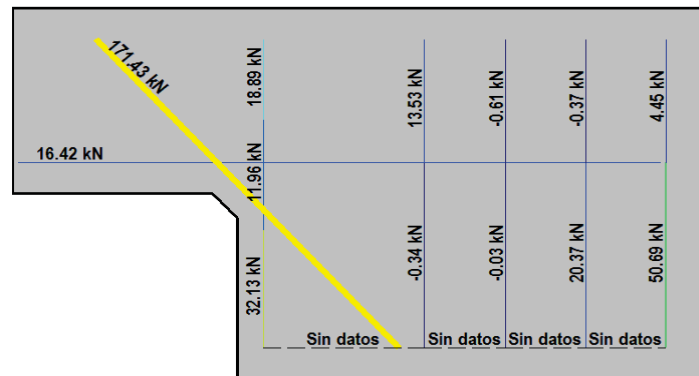
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

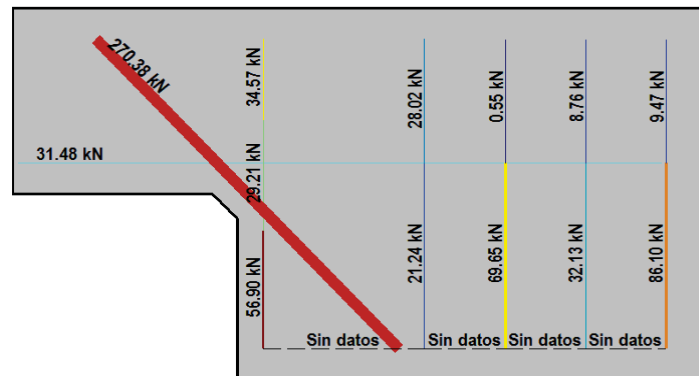
V (kN): 79,65
 V/V_{última}: 25%
 w (mm): 0,10



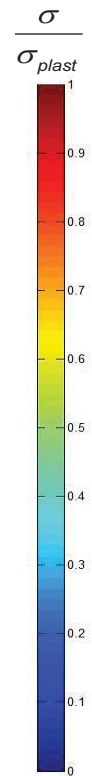
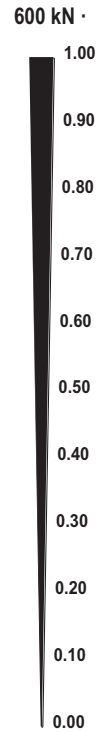
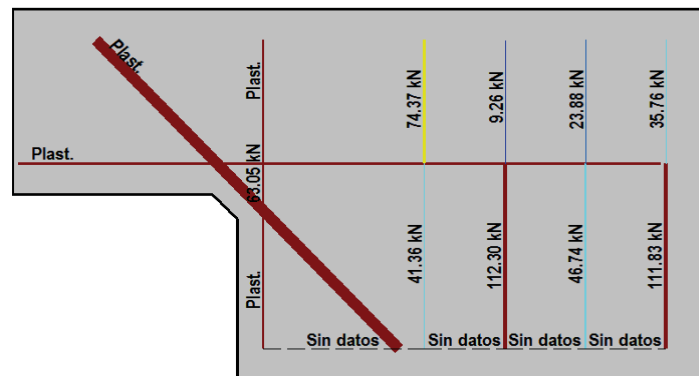
V (kN): 159,29
 V/V_{última}: 50%
 w (mm): 0,29



V (kN): 238,94
 V/V_{última}: 75%
 w (mm): 0,50



V (kN): 318,58
 V/V_{última}: 100%
 w (mm): 3,96



   		FICHA: 34.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.3/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL EN EL INSTANTE DE LA ROTURA



VISTA DE CARA DORSAL TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.

- INCIDENCIAS: --

- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:





- De los dos vértices del bisel salen las fisuras que tienen una mayor abertura. La fisura superior es la que tiene una mayor abertura en servicio mientras que la fisura inferior se abre mucho más que la otra para cargas cercanas a la rotura.
- La fisura superior arranca con una inclinación de unos 70° con la horizontal, mientras que la inferior con unos 30°. Ambas fisuras, tras atravesar la armadura inclinada se vuelven más o menos paralelas, con una inclinación de unos 45°. En ningún momento llegan a cruzarse.
- También aparecen fisuras en el paramento vertical que define el cambio de canto. Estas tienden a juntarse con la fisura que parte del vértice inferior del bisel.
- Cerca de la rotura aparece una fisura desde el borde del apoyo.

- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales, primeramente el tirante inclinado y posteriormente de manera casi simultánea los tirantes vertical y horizontal.

- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce al progresar la fisura que parte del borde del apoyo al juntarse con la fisura del vértice superior del bisel y alcanzar la armadura superior produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.

- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Al alcanzar la carga máxima se produce el levantamiento del recubrimiento superior, perdiendo súbitamente una carta parte de la carga que solicitaba la pieza. La carga queda estabilizada en este nuevo valor.

H.35 DEB-3.3 (T1)

				FICHA: 35.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.3 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1/Ph		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.1/Ph
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 19/04/2011
 Edad (días): 40

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 100%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

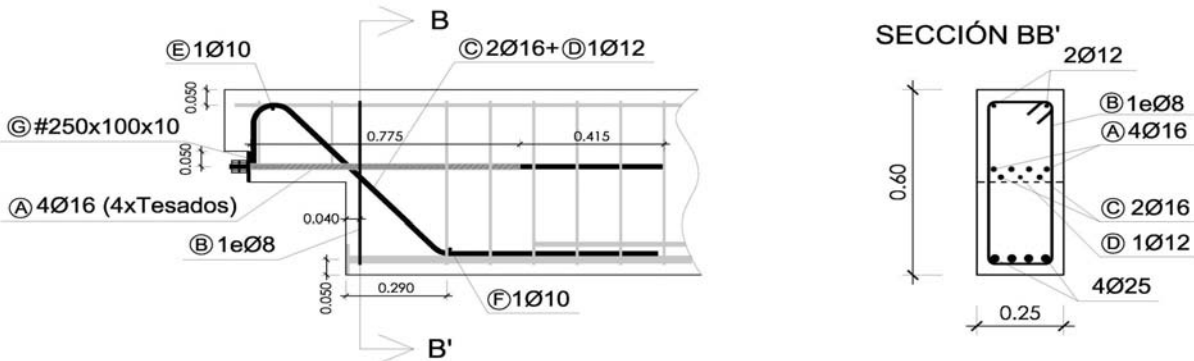
V última (kN): 350,35
 V (w=0,4 mm) (kN): 221,90 63%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
38,8	3,05	0,00%	- -

Fuerza de tesado (kN): 186,0

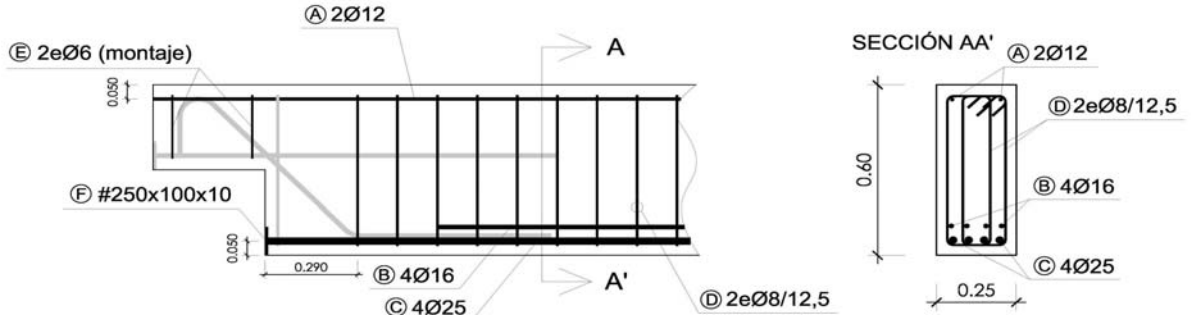
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

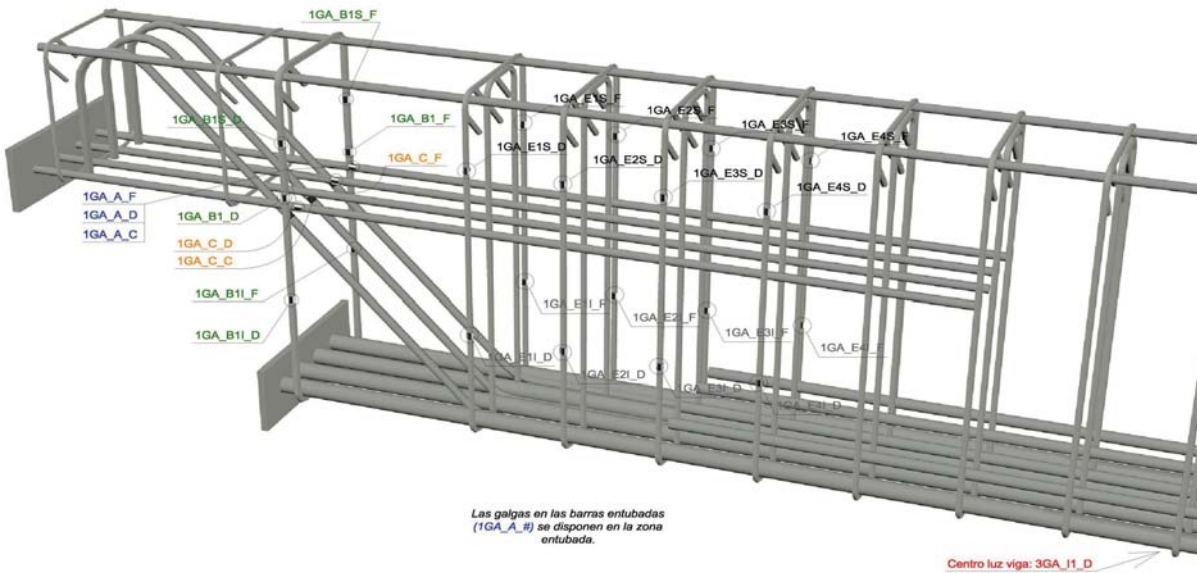
B2.- ARMADO DE LA VIGA



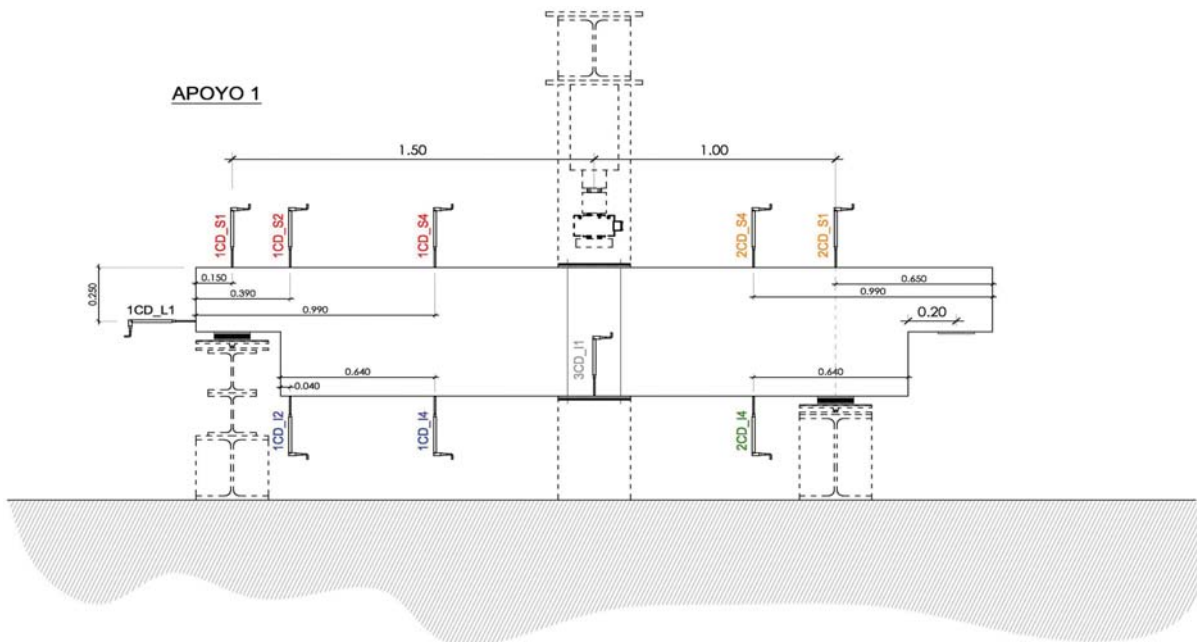
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

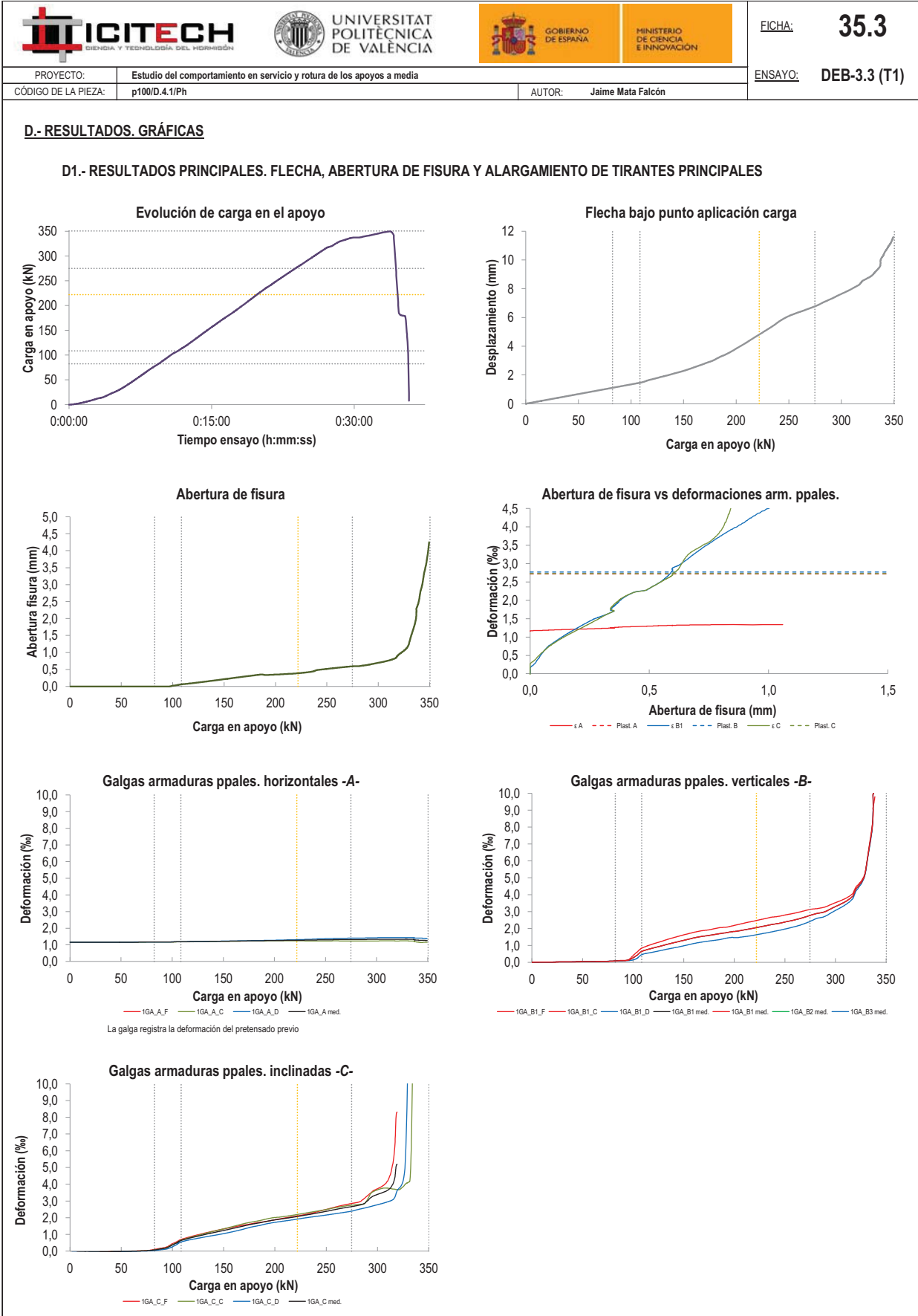
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



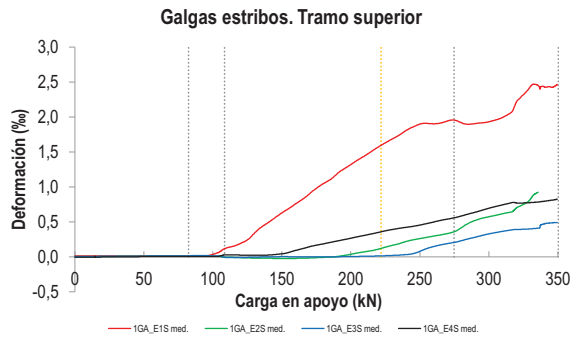
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



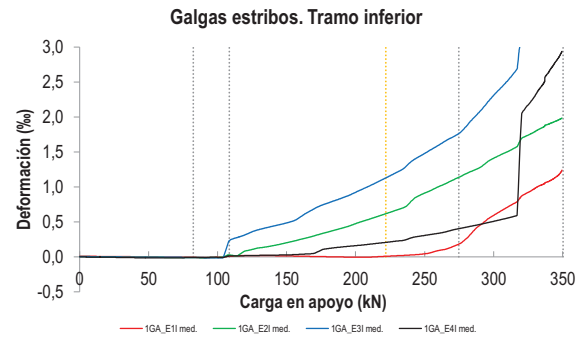


PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-3.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.1/Ph	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

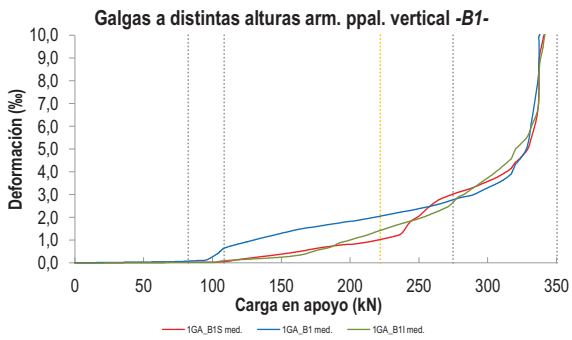
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

   		FICHA: 35.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.1/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

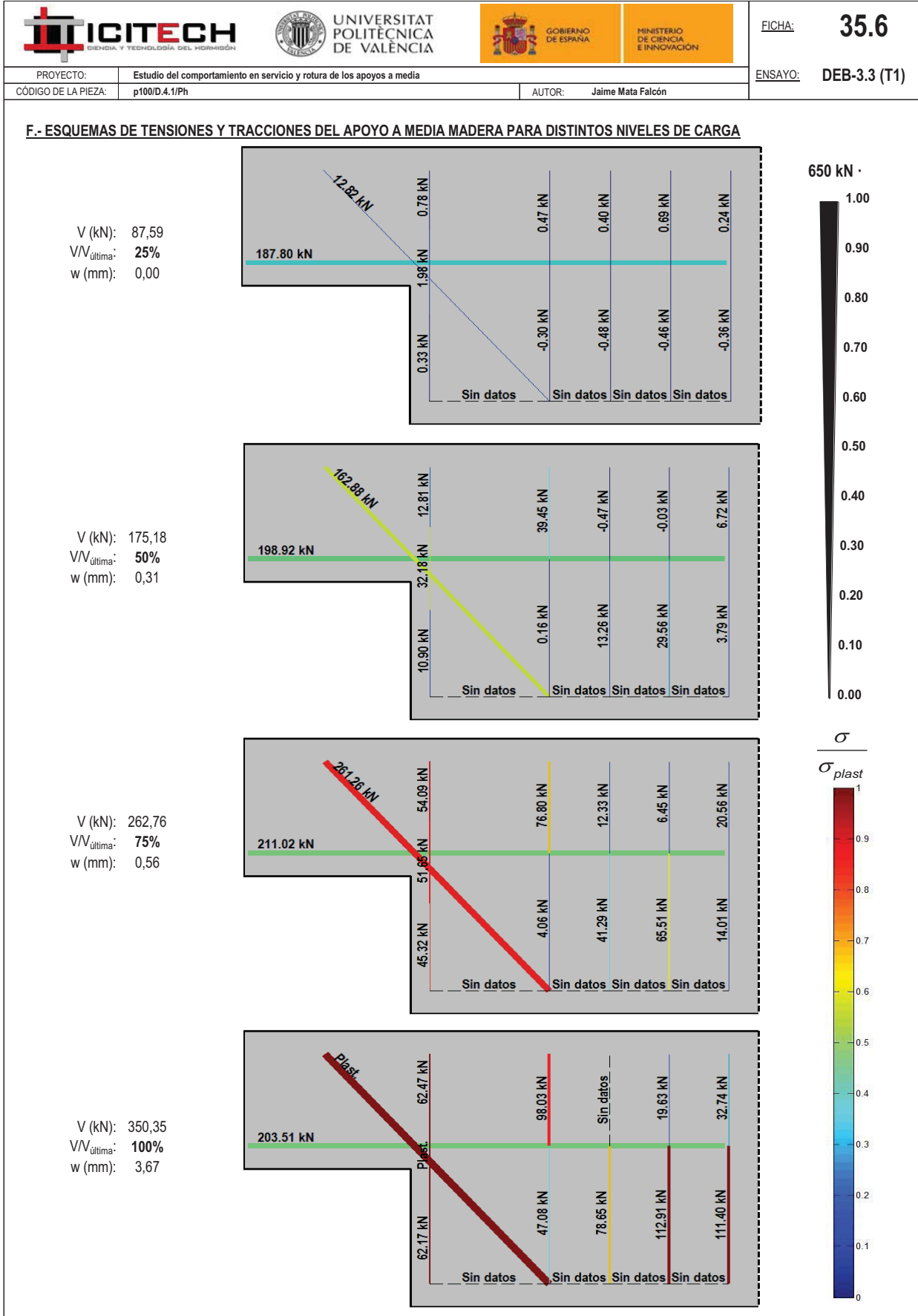
	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
<i>Final de tesado</i>	0,00	0%	0,00	0,00	1,16	0,00	-	-	-0,08
	17,52	5%	0,00	0,24	1,16	0,01	-	-	-0,06
	35,04	10%	0,00	0,47	1,16	0,03	-	-	-0,04
	52,55	15%	0,00	0,71	1,16	0,04	-	-	-0,01
	70,07	20%	0,00	0,94	1,16	0,05	-	-	0,02
	87,59	25%	0,00	1,18	1,17	0,10	-	-	0,12
	105,11	30%	0,04	1,41	1,18	0,48	-	-	0,53
	122,62	35%	0,11	1,75	1,20	0,89	-	-	0,87
	140,14	40%	0,17	2,09	1,21	1,16	-	-	1,11
	157,66	45%	0,24	2,47	1,22	1,41	-	-	1,34
	175,18	50%	0,31	2,93	1,24	1,59	-	-	1,58
	192,69	55%	0,34	3,53	1,25	1,76	-	-	1,79
	210,21	60%	0,37	4,28	1,27	1,92	-	-	1,96
	227,73	65%	0,41	5,07	1,28	2,12	-	-	2,13
	245,25	70%	0,50	5,91	1,30	2,32	-	-	2,33
	262,76	75%	0,56	6,45	1,31	2,56	-	-	2,54
	280,28	80%	0,60	6,95	1,32	2,86	-	-	2,73
297,80	85%	0,68	7,55	1,33	3,23	-	-	3,32	
315,32	90%	0,85	8,27	1,34	3,93	-	-	4,25	
332,83	95%	1,85	9,48	1,32	7,66	-	-	-	
350,35	100%	3,67	11,17	1,27	-	-	-	-	





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	82,40	23,5%	0,00	1,11	1,17	0,08	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	108,50	31,0%	0,06	1,46	1,18	0,63	-	-	0,63
Abertura de fisura 0,20 mm	146,82	41,9%	0,20	2,22	1,21	1,25	-	-	1,20
Abertura de fisura 0,40 mm	221,90	63,3%	0,40	4,82	1,27	2,05	-	-	2,07
Abertura de fisura 0,60 mm	275,76	78,7%	0,60	6,81	1,32	2,79	-	-	2,67
Abertura de fisura 0,80 mm	311,76	89,0%	0,80	8,09	1,34	3,70	-	-	3,92
Primera plastificación	274,80	78,4%	0,59	6,78	1,32	2,77	-	-	2,66


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 GOBIERNO DE ESPAÑA		 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN		FICHA: 35.7
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO:	DEB-3.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.1/Ph	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

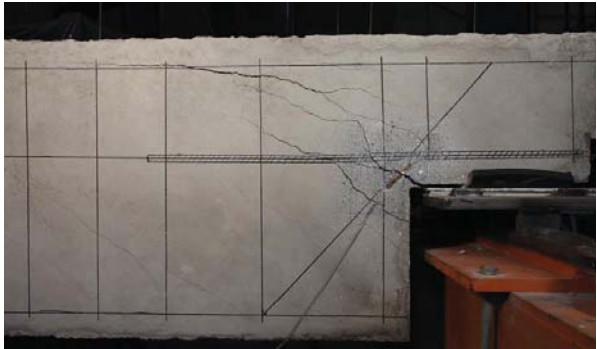
PROCESO DE TESADO MEDIANTE LLAVE DINAMOMÉTRICA




DETALLE DE LA FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura, tanto en servicio como para el entorno de la carga máxima.
 - Tanto la fisura anterior, como el resto de fisuras generadas forman un ángulo de unos 30° con la horizontal.
 - Las fisuras que parten desde la placa de anclaje de la armadura horizontal se juntan con la que parte del vértice y producen el levantamiento del recubrimiento de la armadura superior de la vis.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el tirante vertical y prácticamente a la misma carga el tirante inclinado. El tirante horizontal, que se pretensa queda sin plastificar, ya que durante el ensayo no varían muy significativamente la predeformación previa.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La pieza pierde de manera súbita prácticamente la totalidad de la carga, una vez se alcanza la carga máxima resistida por la pieza.

H.36 DEB-3.3 (T2)

	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN	FICHA: 36.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1/Ph		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.1/Ph
 Fecha horm.: 10/03/2011
 Fecha ensayo: 20/04/2011
 Edad (días): 41

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 336,46
 V (w=0,4 mm) (kN): 161,49 48%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D)

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 100%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Variante 1: Pretensado T1 Pretensado de la arm. horizontal mediante mecanizado

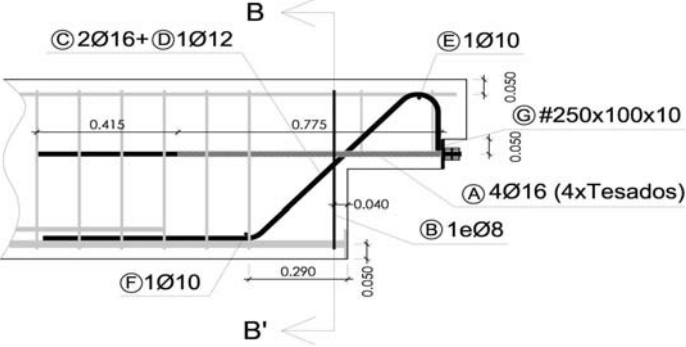
Variante 2: -

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
38,8	3,05	0,00%	-	-

Fuerza de tesado (kN): 159,4

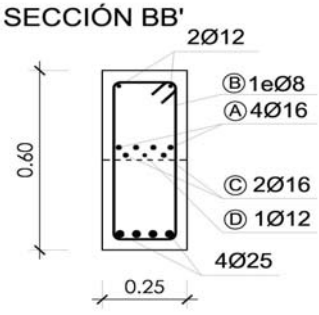
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

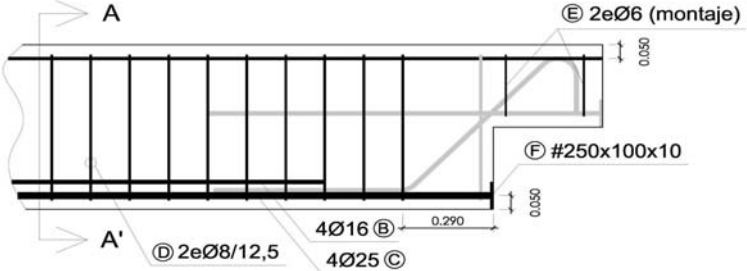


- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN BB'

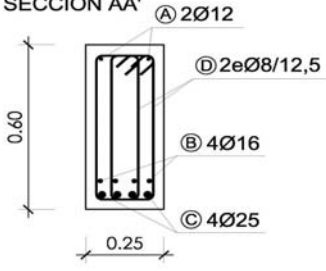


B2.- ARMADO DE LA VIGA



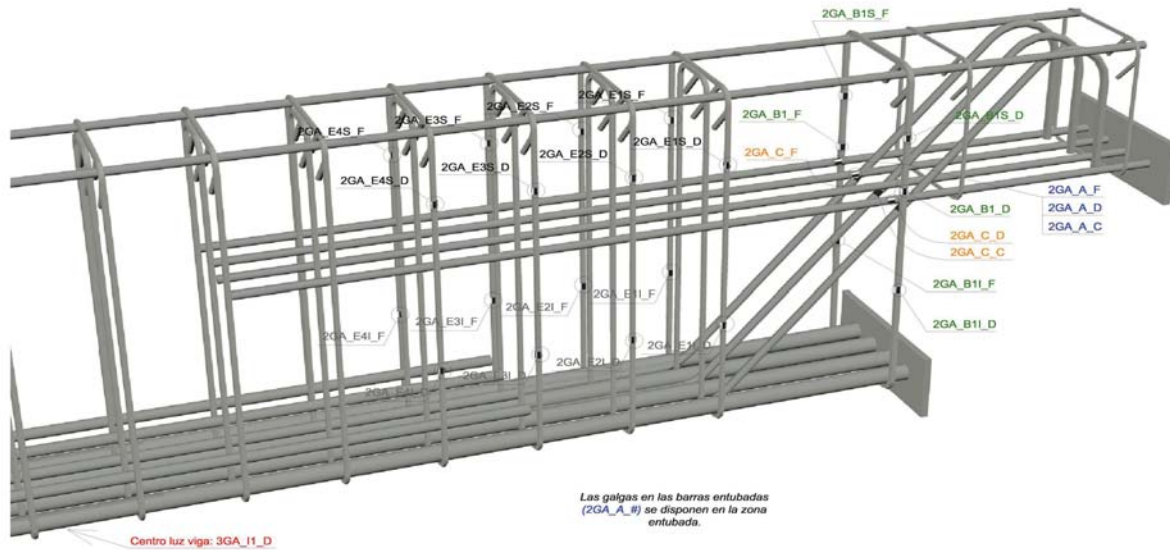
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

SECCIÓN AA'

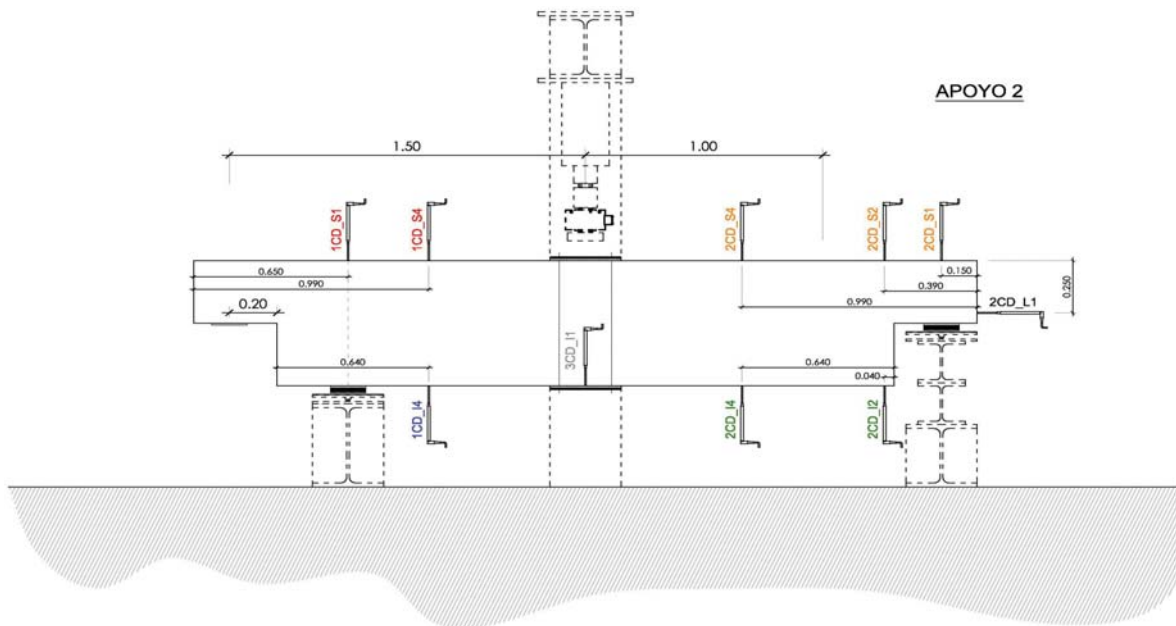


C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



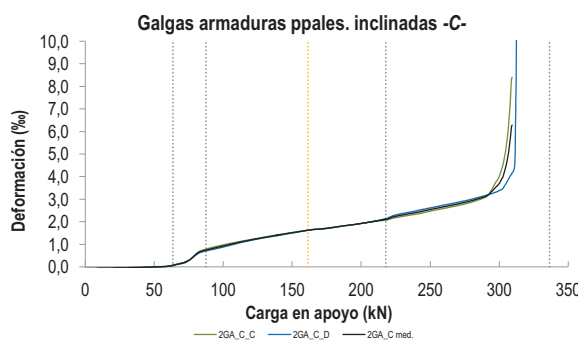
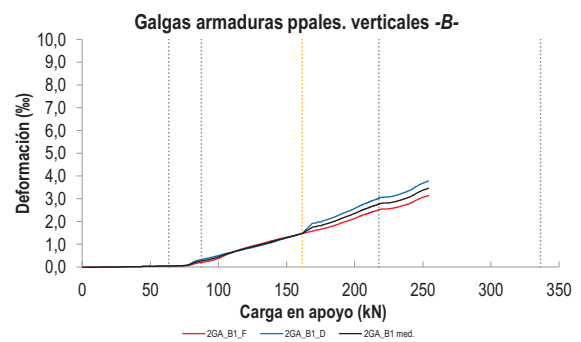
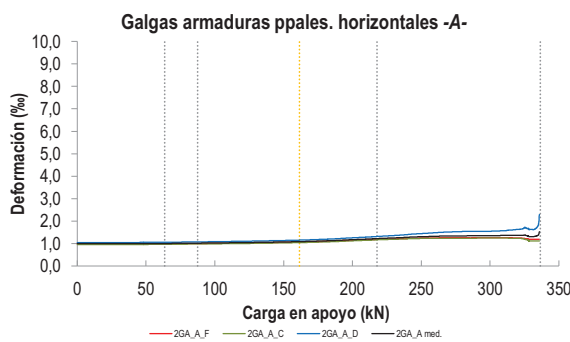
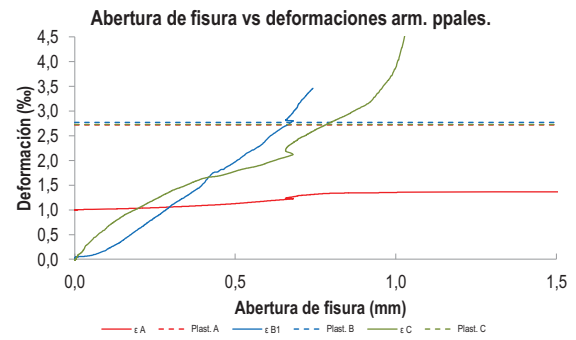
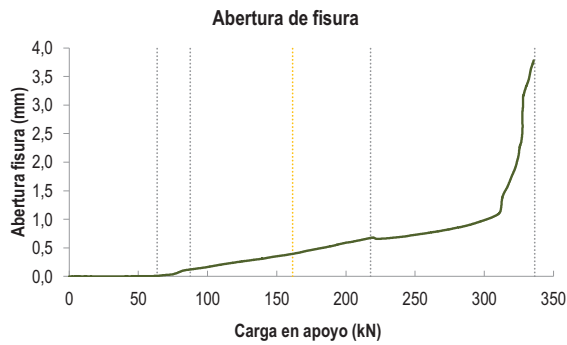
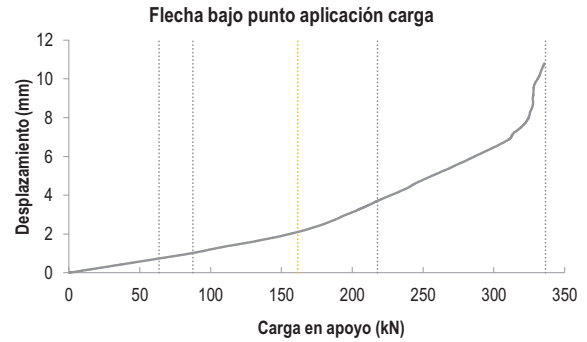
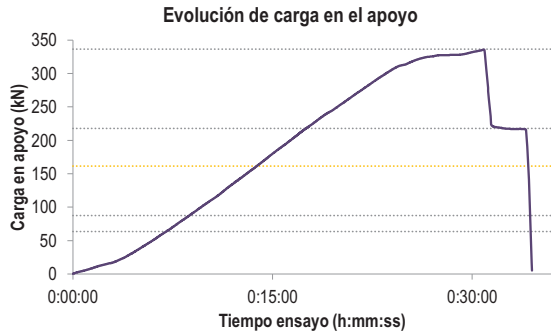
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA

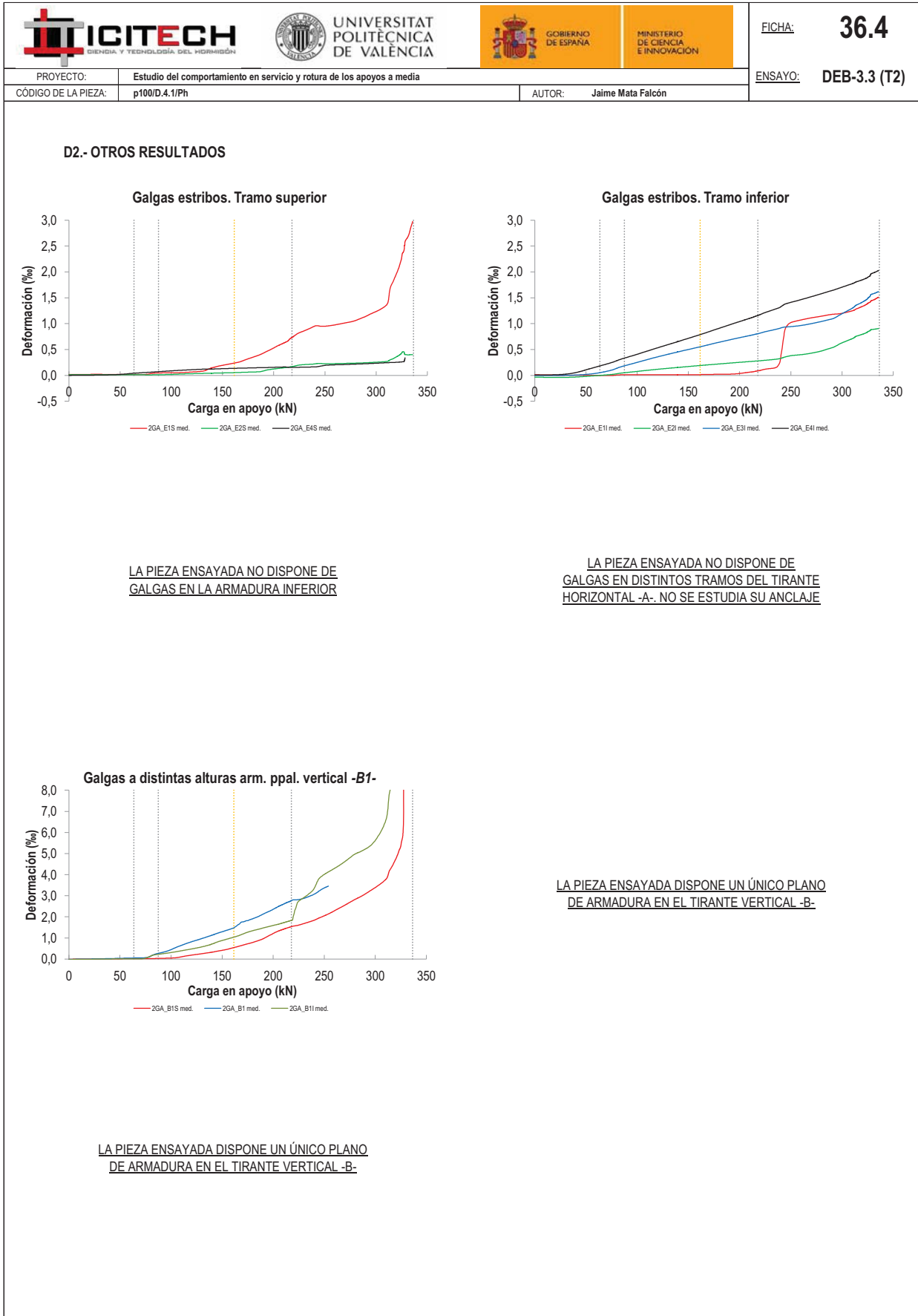


   		FICHA: 36.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES





   		FICHA: 36.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.3 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.1/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

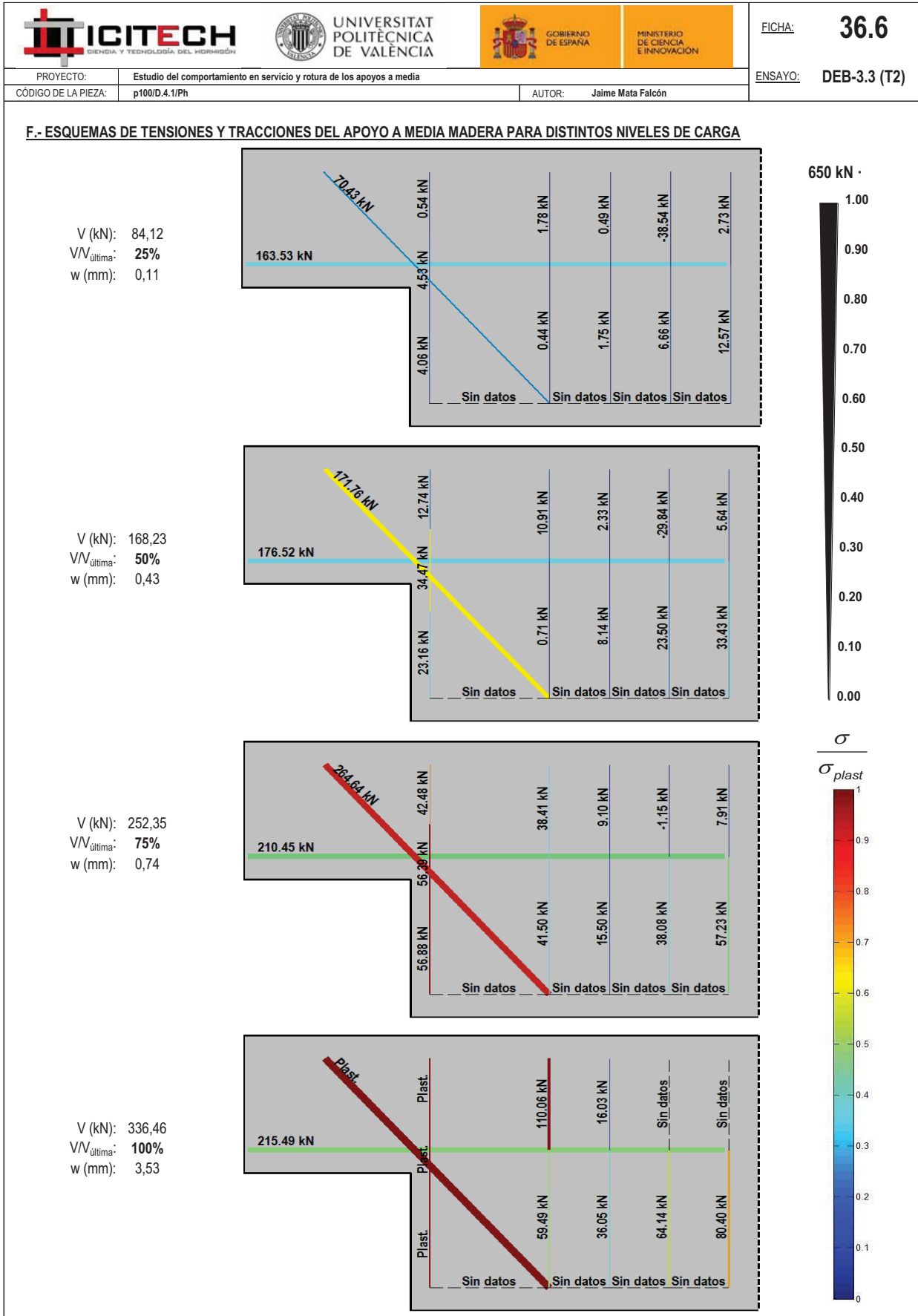
Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,99	0,00	-	-	-0,08
16,82	5%	0,00	0,19	0,99	0,00	-	-	-0,06
33,65	10%	0,00	0,39	1,00	0,01	-	-	-0,03
50,47	15%	0,00	0,59	1,00	0,03	-	-	0,00
67,29	20%	0,02	0,78	1,00	0,05	-	-	0,12
84,12	25%	0,11	0,98	1,02	0,22	-	-	0,68
100,94	30%	0,17	1,22	1,03	0,47	-	-	0,94
117,76	35%	0,24	1,45	1,04	0,78	-	-	1,16
134,59	40%	0,29	1,67	1,06	1,04	-	-	1,35
151,41	45%	0,36	1,92	1,07	1,31	-	-	1,52
168,23	50%	0,43	2,24	1,10	1,71	-	-	1,67
185,05	55%	0,51	2,66	1,13	2,01	-	-	1,80
201,88	60%	0,59	3,21	1,18	2,43	-	-	1,95
218,70	65%	0,67	3,70	1,22	2,76	-	-	2,11
235,52	70%	0,68	4,26	1,27	2,98	-	-	2,36
252,35	75%	0,74	4,87	1,31	3,39	-	-	2,57
269,17	80%	0,80	5,42	1,34	-	-	-	2,78
285,99	85%	0,88	5,99	1,34	-	-	-	3,04
302,82	90%	1,01	6,58	1,35	-	-	-	4,31
319,64	95%	1,87	7,72	1,37	-	-	-	-
336,46	100%	3,53	10,32	1,34	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	63,58	18,9%	0,00	0,74	1,00	0,05	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	87,50	26,0%	0,12	1,02	1,02	0,27	-	-	0,74
Abertura de fisura 0,20 mm	108,79	32,3%	0,20	1,34	1,03	0,63	-	-	1,05
Abertura de fisura 0,40 mm	161,49	48,0%	0,40	2,10	1,09	1,49	-	-	1,62
Abertura de fisura 0,60 mm	206,79	61,5%	0,60	3,35	1,19	2,54	-	-	1,99
Abertura de fisura 0,80 mm	266,84	79,3%	0,80	5,33	1,33	-	-	-	2,75
Primera plastificación	217,83	64,7%	0,67	3,68	1,22	2,75	-	-	2,10

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



 		 		FICHA: 36.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.3 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.1/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

VISTA GENERAL DE CARA DORSAL CERCA DE LA CARGA MÁX.



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: En el proceso de tesado no se alcanza la misma carga que la alcanzada en el apoyo 1, por fallo de la rosca mediante la que se introduce el tesado.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior es prácticamente horizontal y se junta a la altura del primer estribo de la viga con otras fisuras que parten del paramento vertical de la viga que define el cambio de canto.
 - Aparte de la fisura de la esquina y la del paramento vertical también aparece una fisura desde el borde del apoyo que forma unos 30° con la horizontal.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica primeramente el tirante vertical y posteriormente el tirante inclinado. Cabe destacar que el tirante horizontal, que es en el que se introduce el pretensado, no plastifica. Dicho tirante, no varía de manera muy significativa la predeformación previa que se le introduce con el pretensado.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce al producirse el levantamiento del recubrimiento de hormigón de la armadura superior de la viga.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Una vez alcanza su carga máxima la pieza pierde aproximadamente una tercera parte de su carga, estabilizándose la misma en dicho valor hasta que se descarga completamente la pieza cuando se da por finalizado el ensayo.

H.37 DEB-3.4 (T1)

				FICHA: 37.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.4 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/B
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 27/12/2011
 Edad (días): 25

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

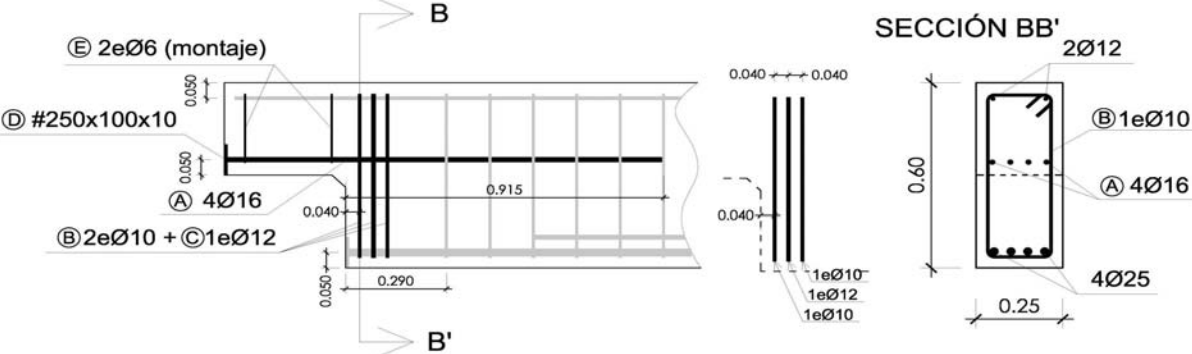
V última (kN): 261,60
 V (w=0,4 mm) (kN): - -
 Modo de fallo: SY+SP (V1)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto	Variante 2:
			-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
34,6	2,86	0,00%	- -

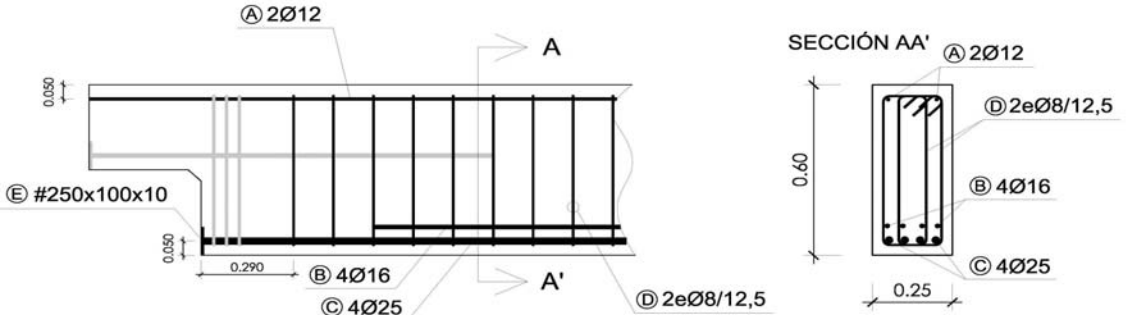
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

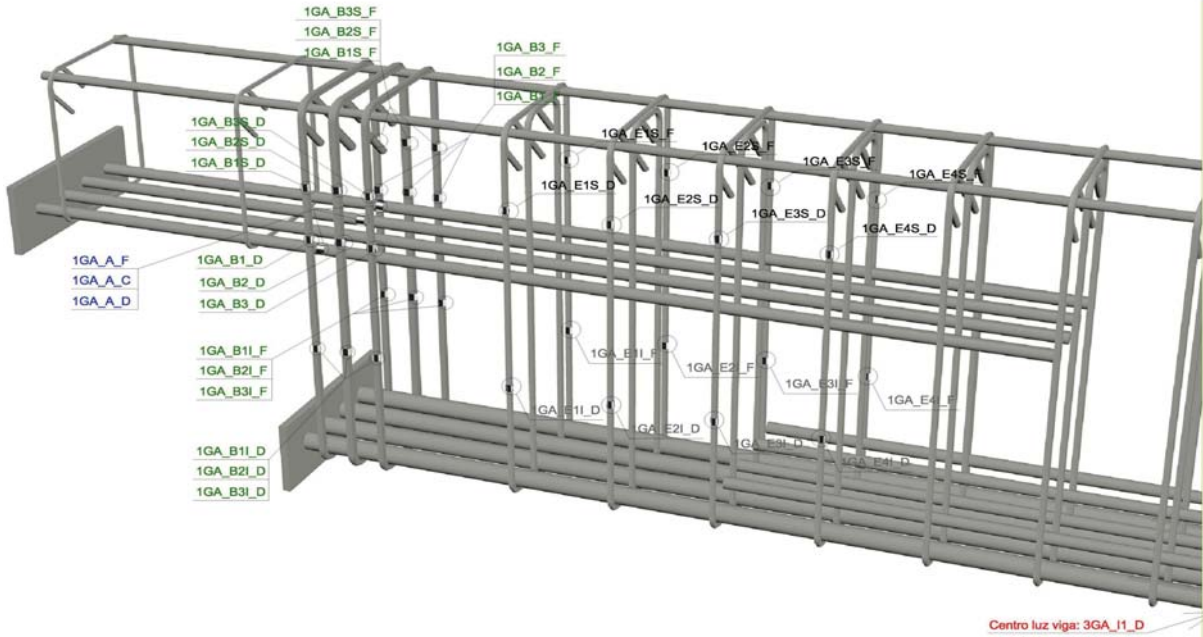
B2.- ARMADO DE LA VIGA



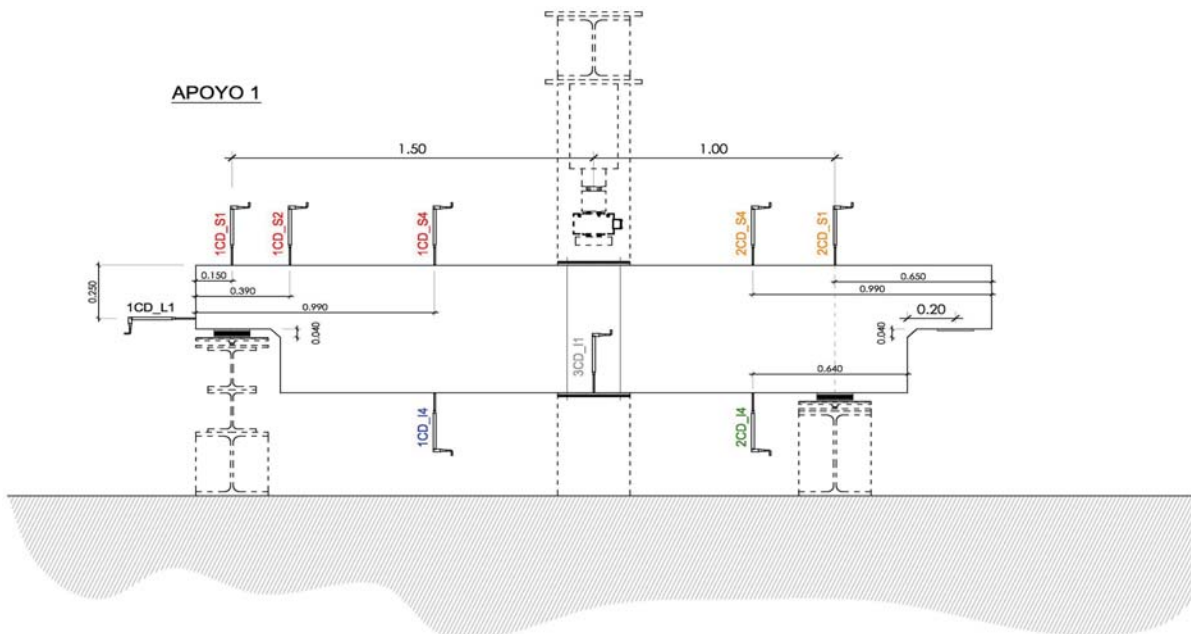
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

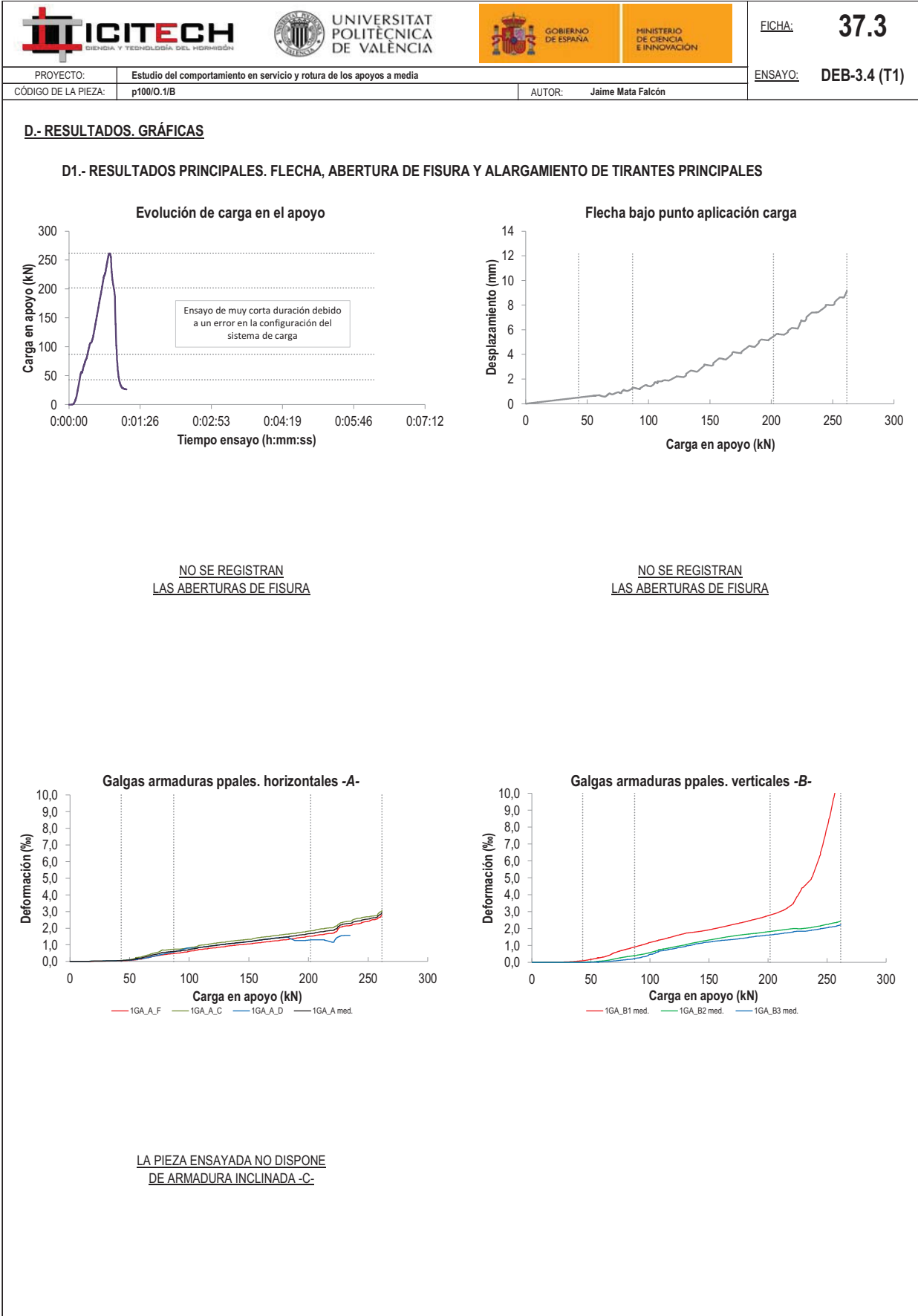
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

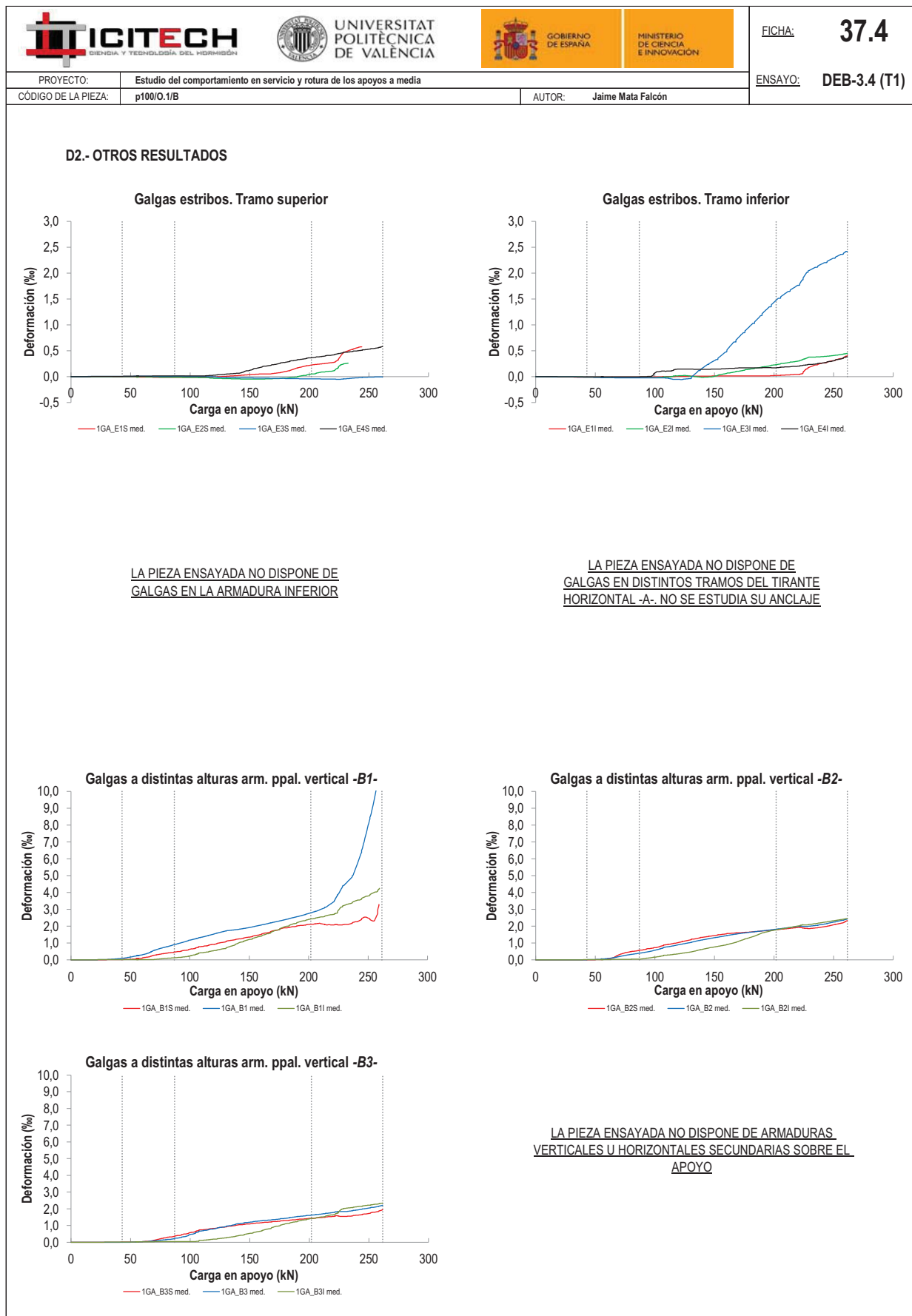
C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA







   		FICHA: 37.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.4 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
13,08	5%	-	0,15	0,01	0,01	0,00	0,00	-
26,16	10%	-	0,31	0,02	0,02	0,00	0,00	-
39,24	15%	-	0,46	0,04	0,07	0,01	0,00	-
52,32	20%	-	0,61	0,11	0,20	0,03	0,01	-
65,40	25%	-	0,64	0,31	0,42	0,13	0,05	-
78,48	30%	-	0,98	0,55	0,74	0,31	0,14	-
91,56	35%	-	1,22	0,63	1,00	0,46	0,28	-
104,64	40%	-	1,65	0,77	1,26	0,67	0,57	-
117,72	45%	-	1,93	0,92	1,48	0,86	0,77	-
130,80	50%	-	2,37	1,04	1,72	1,05	0,96	-
143,88	55%	-	2,99	1,15	1,85	1,24	1,14	-
156,96	60%	-	3,58	1,27	2,02	1,40	1,26	-
170,04	65%	-	4,10	1,37	2,22	1,55	1,35	-
183,12	70%	-	4,63	1,49	2,45	1,67	1,47	-
196,20	75%	-	5,19	1,62	2,68	1,78	1,58	-
209,28	80%	-	5,65	1,76	2,96	1,88	1,68	-
222,36	85%	-	6,41	1,98	3,69	1,99	1,82	-
235,44	90%	-	7,40	2,32	4,93	2,05	1,89	-
248,52	95%	-	8,06	2,53	7,54	2,22	2,03	-
261,60	100%	-	8,73	2,76	11,21	2,38	2,17	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	43,00	16,4%	-	0,50	0,05	0,09	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	87,00	33,3%	-	1,25	0,60	0,91	0,40	0,22	-
Abertura de fisura 0,20 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abertura de fisura 0,40 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abertura de fisura 0,60 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abertura de fisura 0,80 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Primera plastificación	201,79	77,1%	-	5,44	1,68	2,79	1,82	1,62	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **37.6**

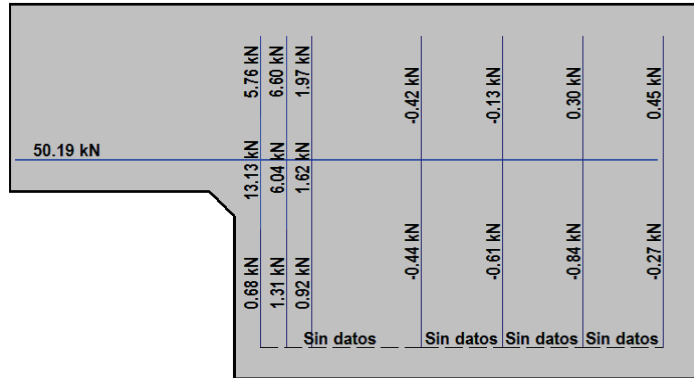
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B

ENSAYO: **DEB-3.4 (T1)**

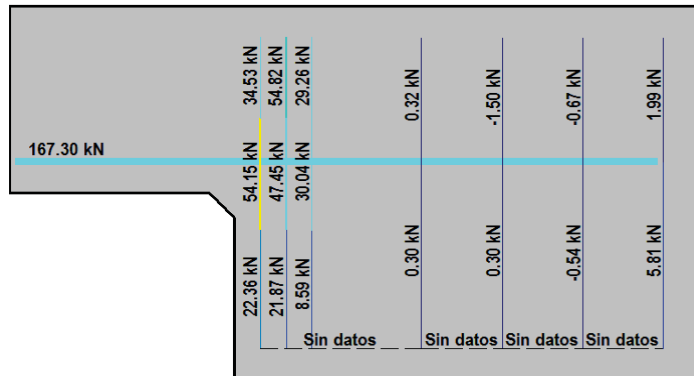
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

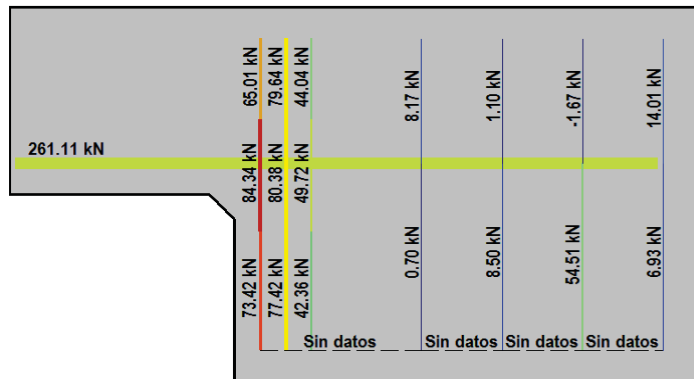
V (kN): 65,40
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): -



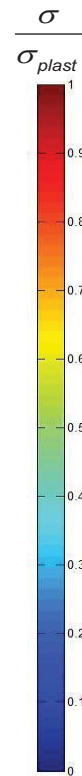
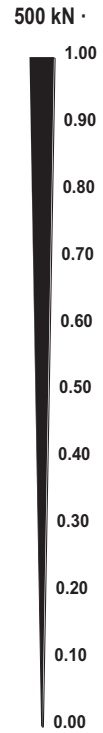
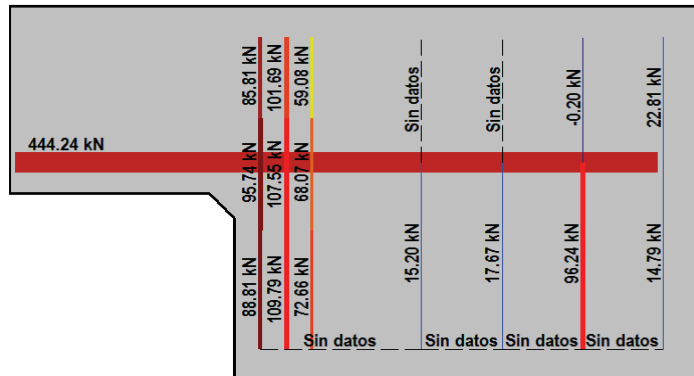
V (kN): 130,80
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): -







V (kN): 196,20
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): -







V (kN): 261,60
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): -



   		FICHA: 37.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.4 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	
<p><u>G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS</u></p> <p style="text-align: center;">NO SE REGISTRAN FOTOS</p> <p style="text-align: center;">NO SE REGISTRAN FOTOS</p> <p style="text-align: center;">NO SE REGISTRAN FOTOS</p> <p style="text-align: center;">NO SE REGISTRAN FOTOS</p>		
<p><u>H.- COMENTARIOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio. - INCIDENCIAS: Debido a un fallo en la configuración del sistema de carga se aplica la carga a una velocidad excesivamente alta. No se registran fotos en el ensayo. - TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifica únicamente el primer plano del tirante principal vertical. El tirante principal horizontal se queda muy cerca de la plastificación. - DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, que al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón. - COMPORTAMIENTO POST-PICO: La elevada velocidad de aplicación de la carga hace que caiga rápidamente la carga después de alcanzar su valor máximo y no pueda analizarse este comportamiento. 		

H.38 DEB-3.4 (T2)

				FICHA: 38.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/B
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 27/12/2011
 Edad (días): 25

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

V última (kN): 266,07
 V (w=0,4 mm) (kN): 120,74 45%
 Modo de fallo: SY+SP (V1-V2)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto	Variante 2:
			-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
34,6	2,86	0,00%	- -

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

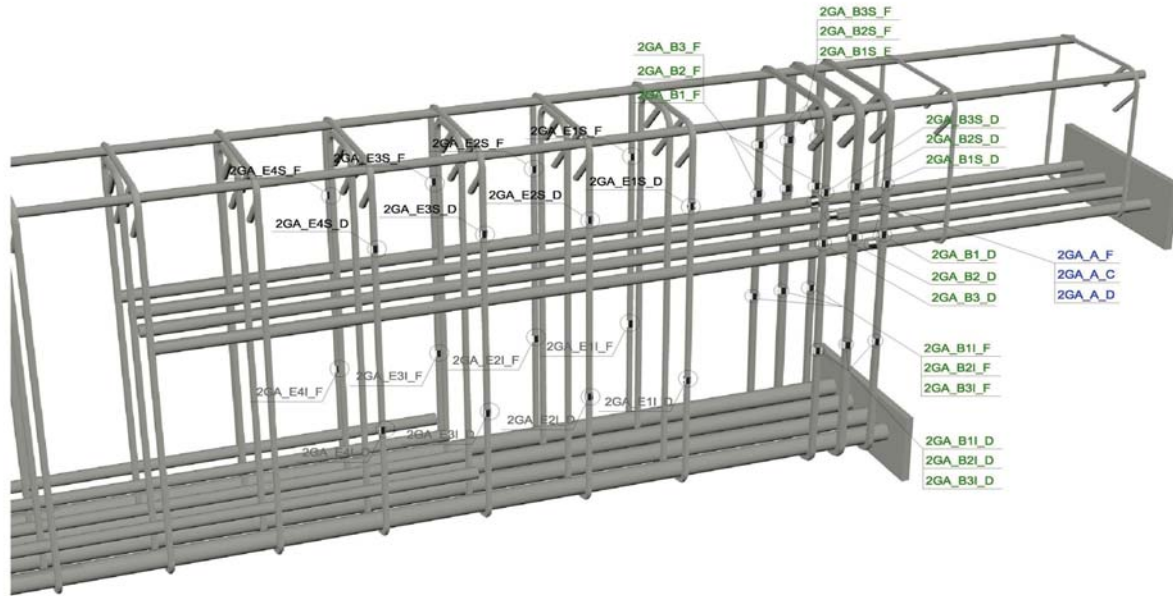
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

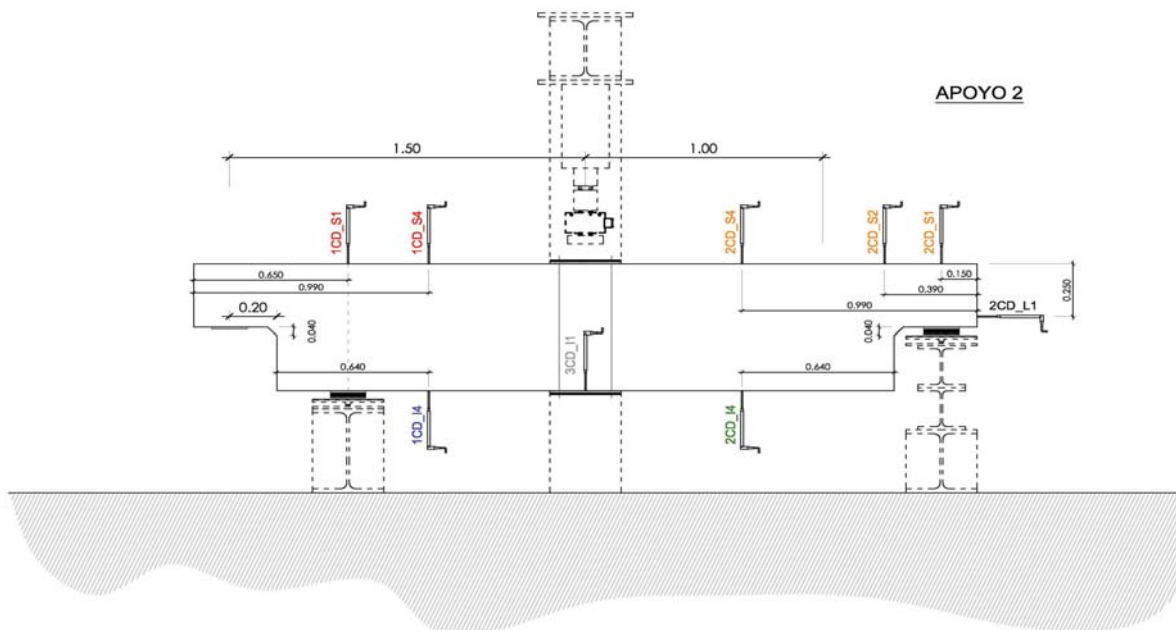
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



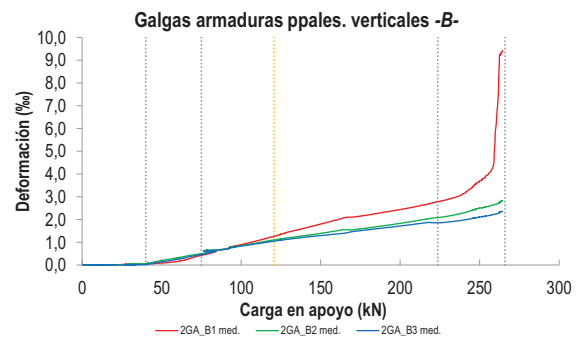
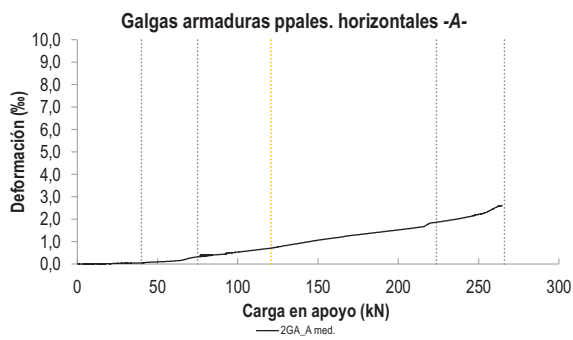
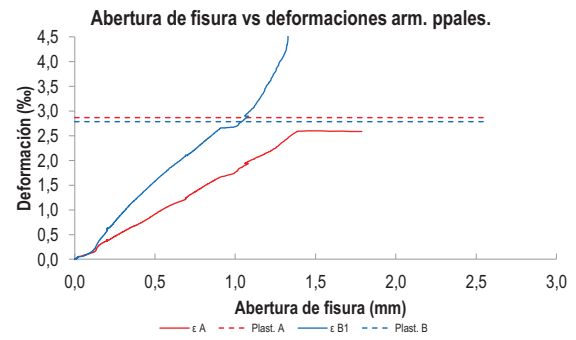
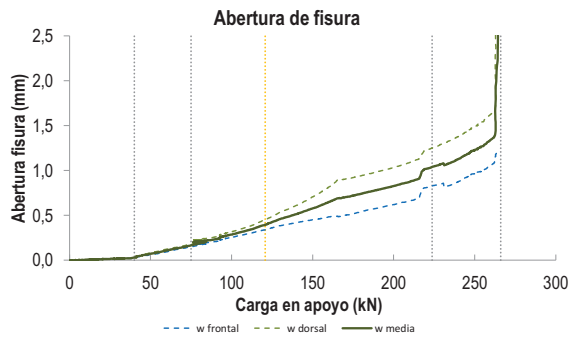
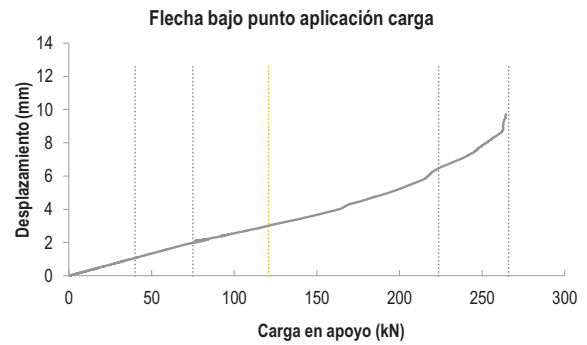
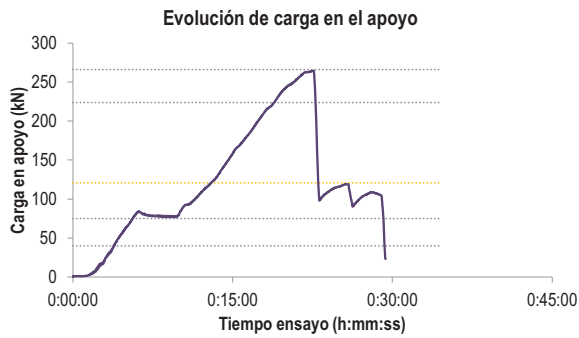
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



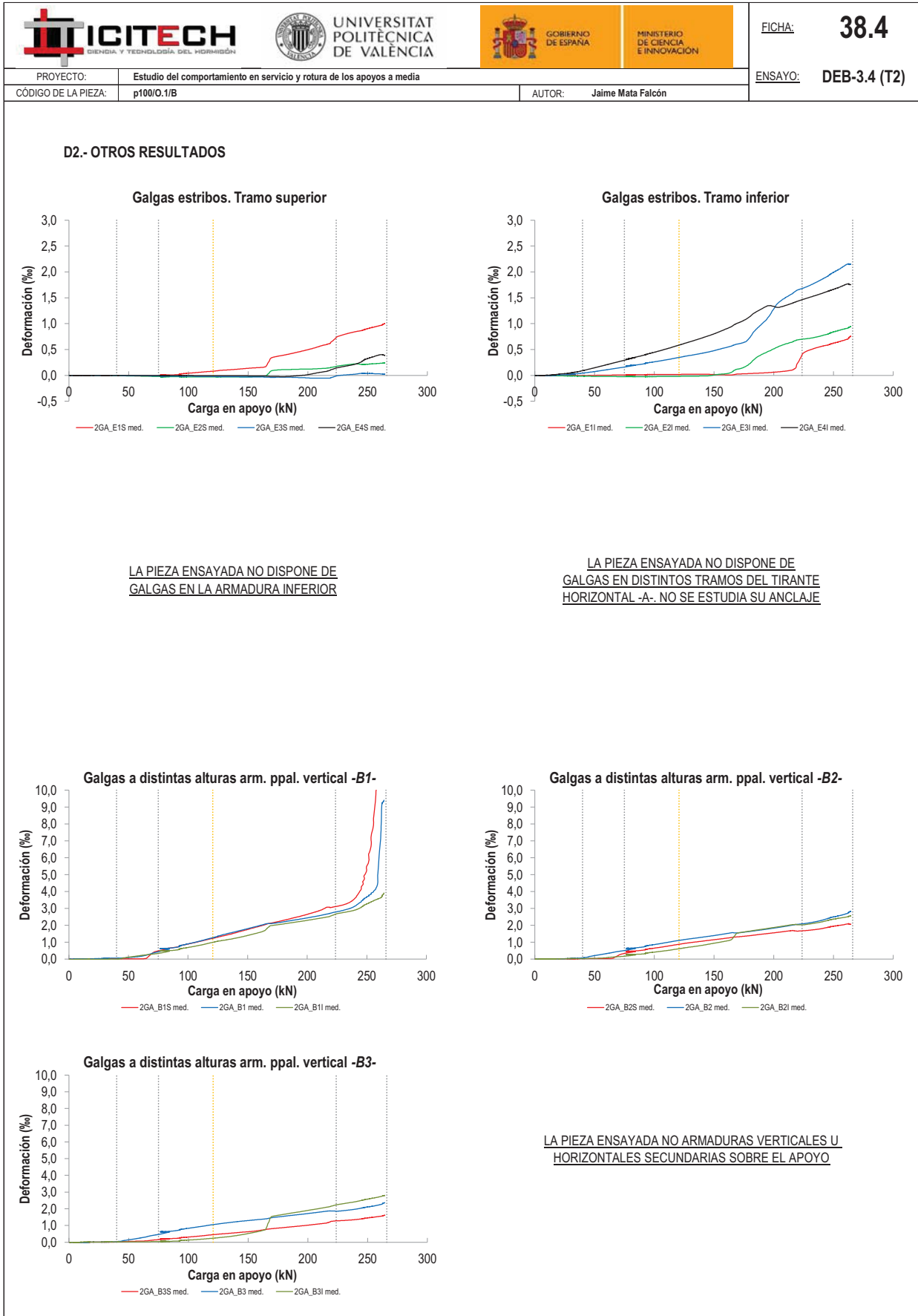
   		FICHA: 38.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 38.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.4 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

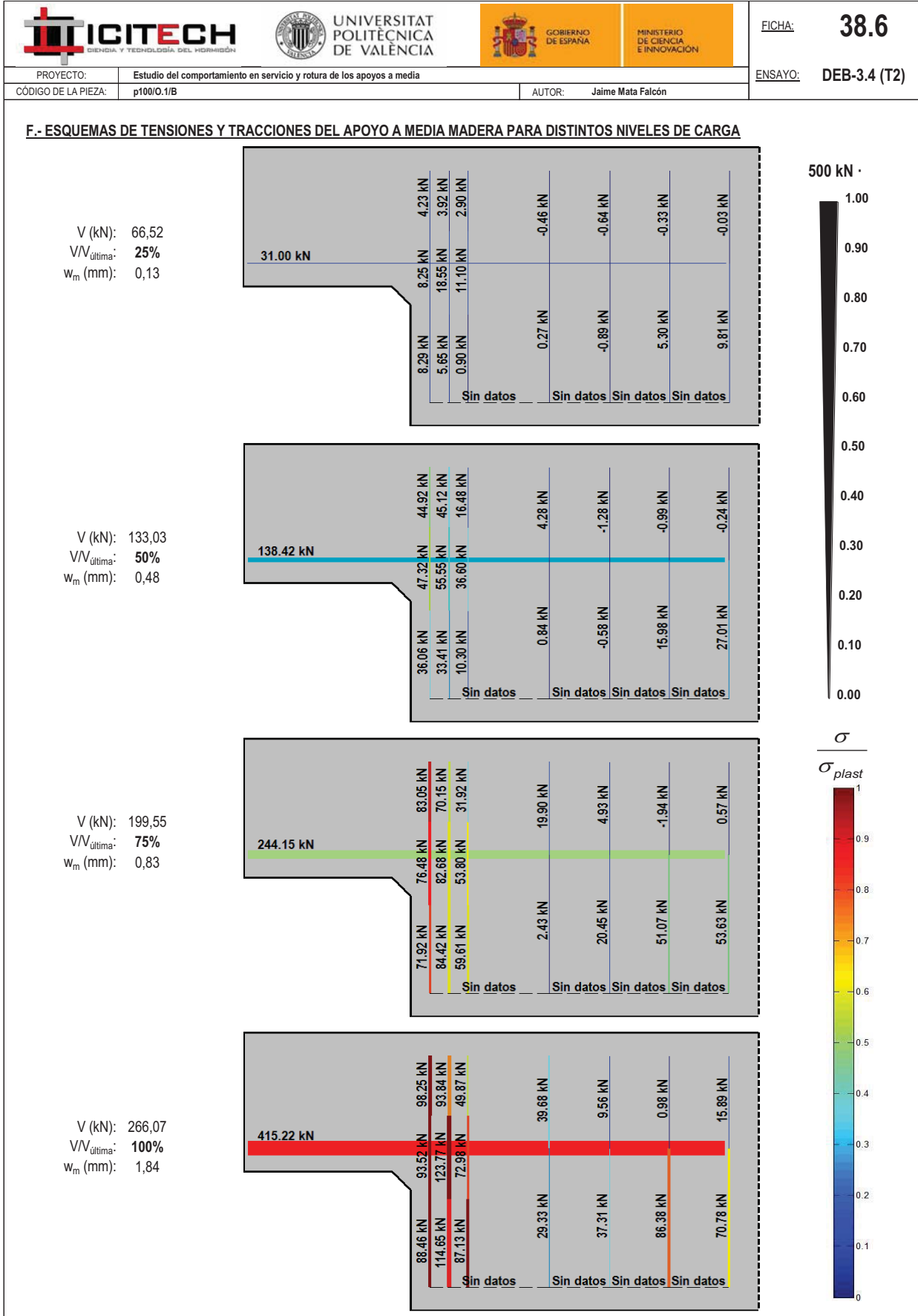
Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
13,30	5%	0,00	0,35	0,01	0,00	0,00	0,00	-
26,61	10%	0,00	0,71	0,03	0,03	0,02	0,01	-
39,91	15%	0,03	1,07	0,05	0,05	0,07	0,03	-
53,21	20%	0,08	1,42	0,10	0,11	0,24	0,17	-
66,52	25%	0,13	1,78	0,19	0,26	0,41	0,35	-
79,82	30%	0,20	2,12	0,38	0,61	0,63	0,61	-
93,12	35%	0,25	2,41	0,47	0,77	0,77	0,75	-
106,43	40%	0,32	2,69	0,58	1,00	0,93	0,90	-
119,73	45%	0,39	2,99	0,70	1,24	1,09	1,04	-
133,03	50%	0,48	3,28	0,86	1,51	1,23	1,16	-
146,34	55%	0,55	3,58	1,02	1,73	1,35	1,27	-
159,64	60%	0,65	3,90	1,16	1,97	1,50	1,36	-
172,94	65%	0,71	4,39	1,29	2,13	1,57	1,49	-
186,25	70%	0,77	4,78	1,40	2,28	1,69	1,60	-
199,55	75%	0,83	5,21	1,52	2,43	1,83	1,71	-
212,85	80%	0,90	5,77	1,65	2,62	1,98	1,83	-
226,16	85%	1,05	6,56	1,88	2,82	2,10	1,87	-
239,46	90%	1,13	7,16	2,05	3,15	2,29	1,98	-
252,76	95%	1,25	8,02	2,27	3,84	2,54	2,14	-
266,07	100%	1,84	9,12	2,58	8,95	2,77	2,32	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	40,00	15,0%	0,00	1,07	0,05	0,05	0,07	0,03	-
Punto de cambio de rigidez	75,00	28,2%	0,17	1,98	0,32	0,43	0,51	0,47	-
Abertura de fisura 0,20 mm	79,15	29,7%	0,20	2,12	0,38	0,61	0,63	0,61	-
Abertura de fisura 0,40 mm	120,74	45,4%	0,40	3,02	0,71	1,27	1,11	1,05	-
Abertura de fisura 0,60 mm	152,68	57,4%	0,60	3,73	1,09	1,85	1,42	1,31	-
Abertura de fisura 0,80 mm	192,48	72,3%	0,80	4,97	1,46	2,35	1,75	1,65	-
Primera plastificación	223,73	84,1%	1,04	6,45	1,86	2,78	2,08	1,86	-


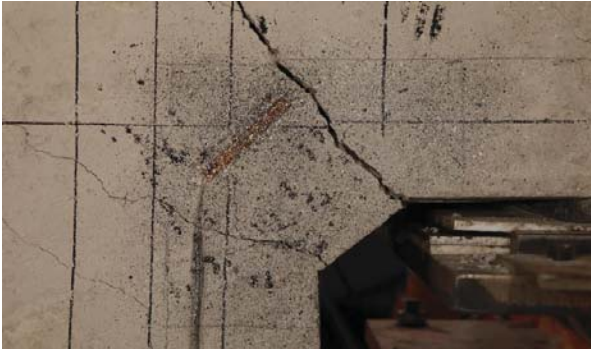
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas





   		FICHA: 38.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.4 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

DETALLE DE FISURACIÓN EN BISEL A CARGA MÁXIMA (FRONTAL) DETALLE DE FISURACIÓN EN BISEL A CARGA MÁXIMA (DORSAL)





VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Para cargas de servicio se abren, tanto en la cara dorsal como en la frontal, las dos fisuras que parten de los vértices del bisel. En la cara frontal la fisura inferior tiene una abertura superior, salvo para cargas elevadas. En la cara dorsal es la fisura superior la que tiene una abertura más elevada.
 - La fisura que parte del vértice superior arranca con una inclinación de unos 45° tanto en la cara dorsal como en la frontal. En el caso de la fisura inferior arranca formando unos 30° respecto a la horizontal.
 - Cerca de rotura aparece una fisura que parte del borde del apoyo y se junta con la fisura superior del bisel; acaban alineándose con la armadura superior de la viga y produciendo el desprendimiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. El orden de plastificación de las armaduras es el siguiente: 1º vertical (1er plano) - 2º vertical (2º plano).
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La carga cae un 56% tras alcanzar la carga máxima.

H.39 DEB-3.5 (T1)

				FICHA: 39.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.5 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.1/B
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 11/01/2012
 Edad (días): 40

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ12	Armado: 4φ10	Armado: 2φ12+1φ10
Área (cm ²): 4,52	Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 3,05
α: 56%	β: 58%	γ: 51%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

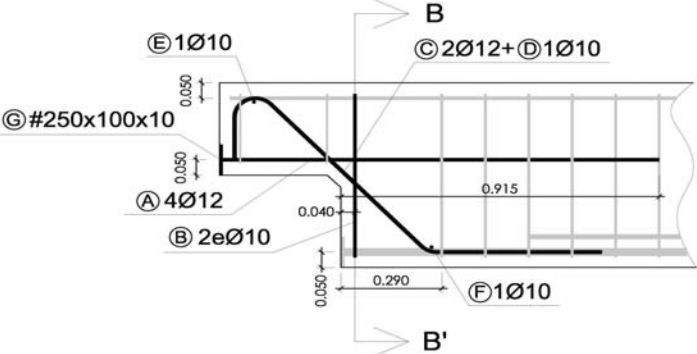
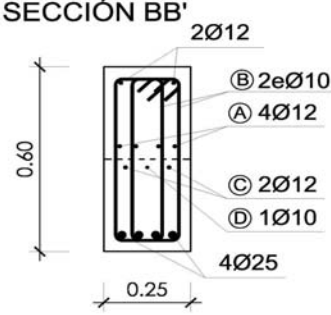
Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
Variante 2:	-	0

V última (kN): 339,79
 V (w=0,4 mm) (kN): 184,22 54%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
33,1	3,05	0,00%	- -

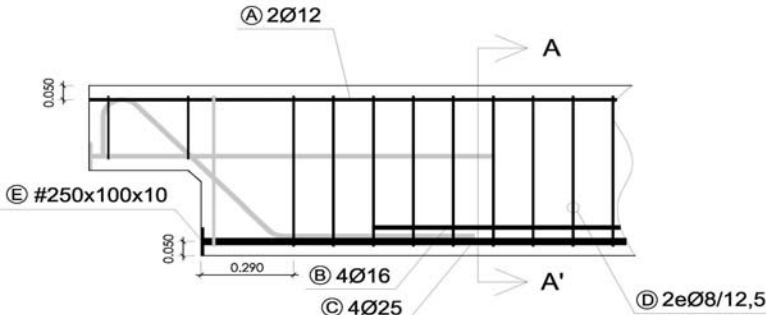
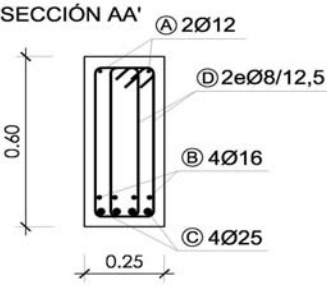
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

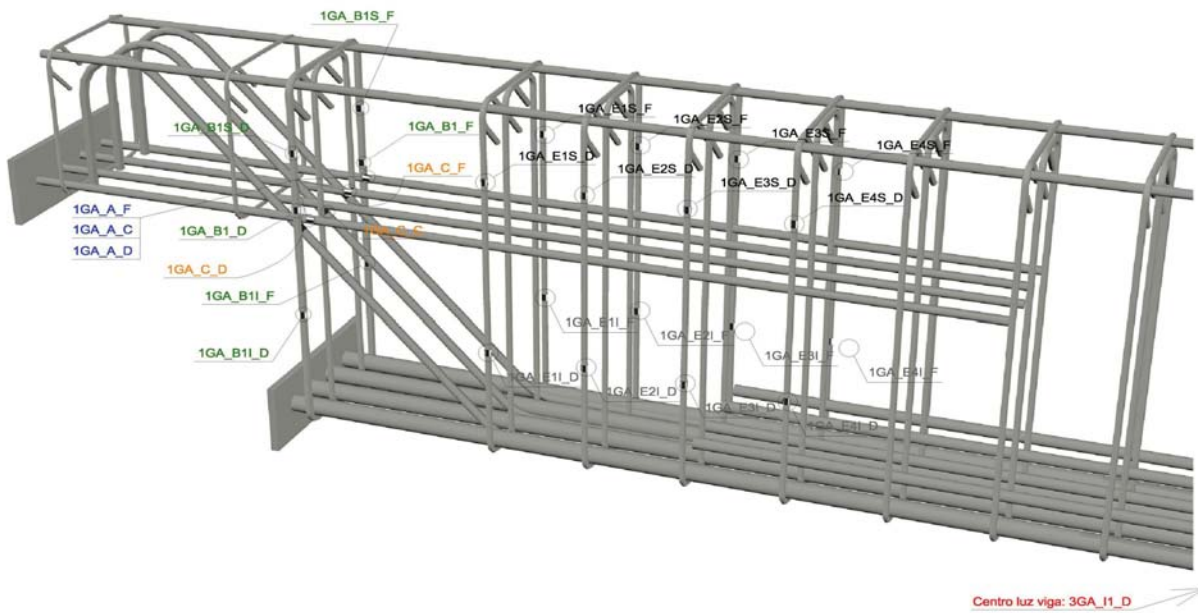
B2.- ARMADO DE LA VIGA

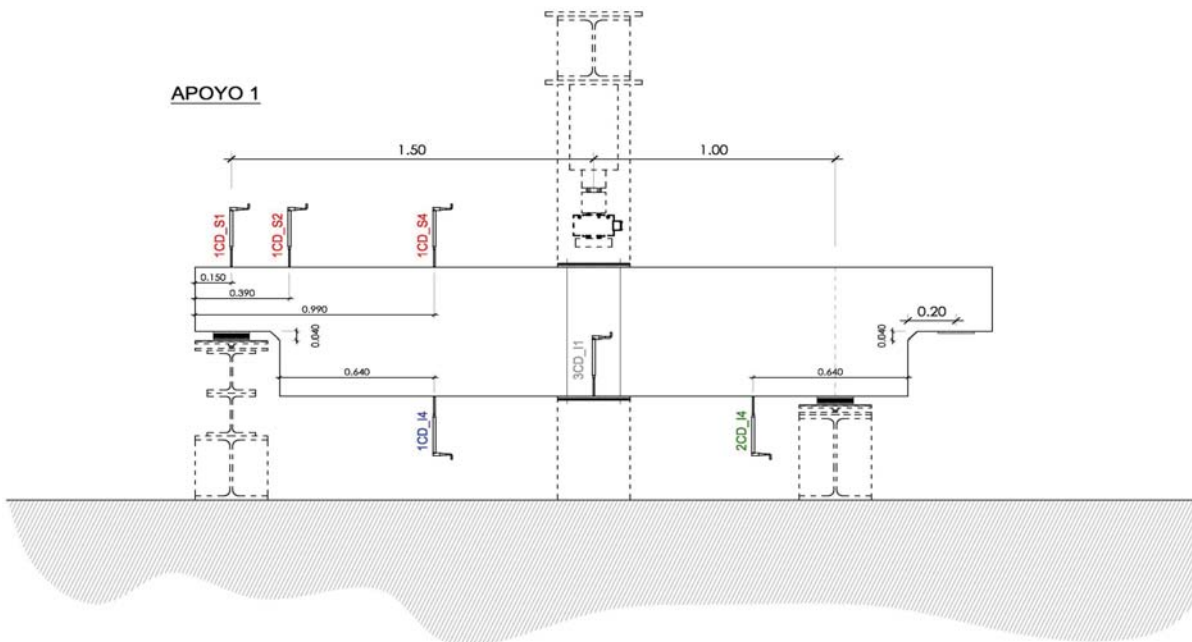
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



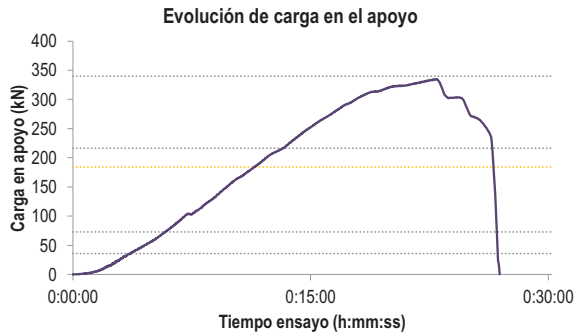
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



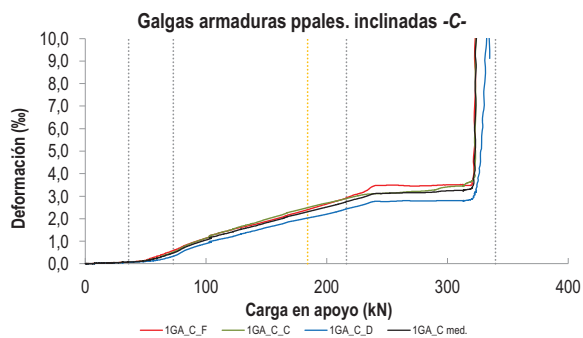
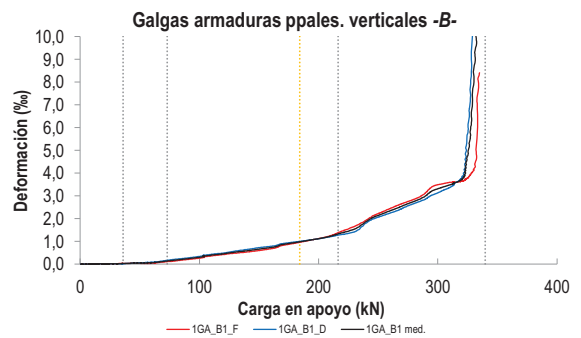
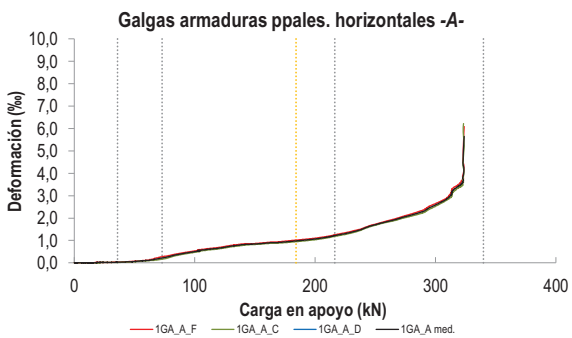
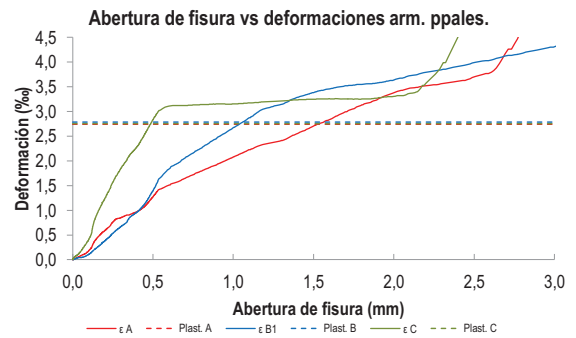
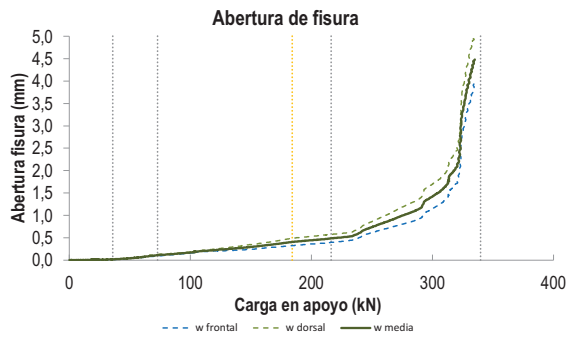
   		FICHA: 39.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.5 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

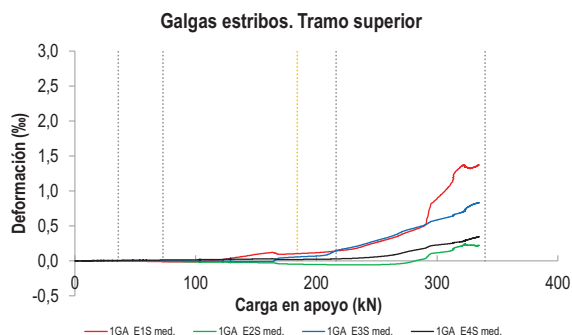


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE CAPTADOR DE DESPLAZAMIENTO SOBRE EL APOYO CONTRARIO AL ENSAYADO. NO PUEDE OBTENERSE LA FLECHA

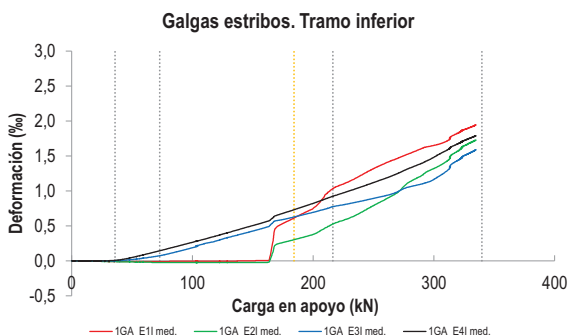


   		FICHA: 39.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.5 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

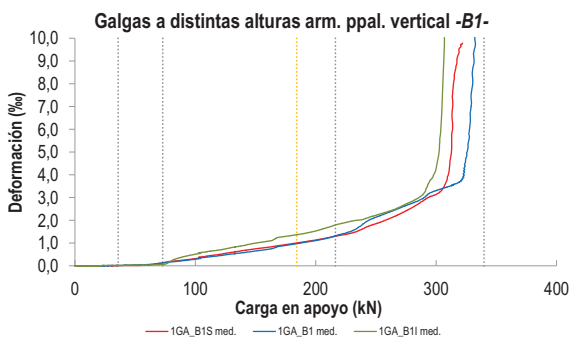
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 39.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.5 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	-	-	0,00
16,99	5%	0,00	-	0,01	0,01	-	-	0,03
33,98	10%	0,02	-	0,03	0,02	-	-	0,07
50,97	15%	0,04	-	0,07	0,04	-	-	0,14
67,96	20%	0,10	-	0,17	0,10	-	-	0,39
84,95	25%	0,13	-	0,36	0,20	-	-	0,78
101,94	30%	0,18	-	0,54	0,33	-	-	1,12
118,93	35%	0,22	-	0,65	0,44	-	-	1,37
135,92	40%	0,26	-	0,79	0,56	-	-	1,62
152,91	45%	0,30	-	0,85	0,68	-	-	1,86
169,90	50%	0,36	-	0,91	0,85	-	-	2,12
186,89	55%	0,41	-	1,00	1,00	-	-	2,35
203,87	60%	0,45	-	1,10	1,16	-	-	2,57
220,86	65%	0,50	-	1,26	1,38	-	-	2,82
237,85	70%	0,59	-	1,49	1,79	-	-	3,08
254,84	75%	0,78	-	1,77	2,23	-	-	3,14
271,83	80%	0,96	-	2,01	2,58	-	-	3,15
288,82	85%	1,18	-	2,31	3,00	-	-	3,19
305,81	90%	1,55	-	2,77	3,42	-	-	3,25
322,80	95%	2,88	-	3,72	4,59	-	-	7,97
339,79	100%	4,38	-	-	10,63	-	-	13,90

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

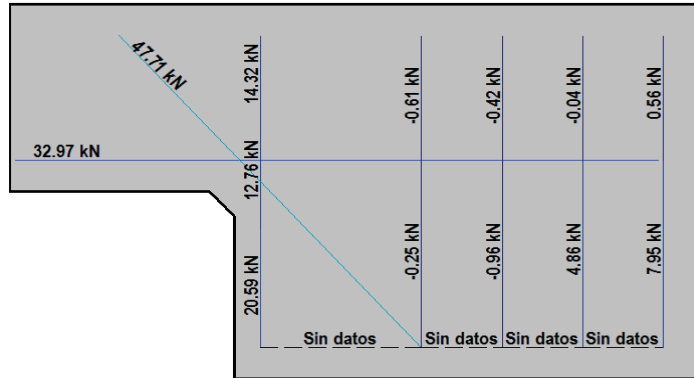
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	36,00	10,6%	0,02	-	0,03	0,02	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	73,00	21,5%	0,11	-	0,22	0,13	-	-	0,48
Abertura de fisura 0,20 mm	108,45	31,9%	0,20	-	0,59	0,38	-	-	1,24
Abertura de fisura 0,40 mm	184,22	54,2%	0,40	-	0,98	0,98	-	-	2,31
Abertura de fisura 0,60 mm	238,28	70,1%	0,60	-	1,50	1,80	-	-	3,09
Abertura de fisura 0,80 mm	256,37	75,4%	0,80	-	1,80	2,27	-	-	3,14
Primera plastificación	216,39	63,7%	0,48	-	1,21	1,32	-	-	2,75

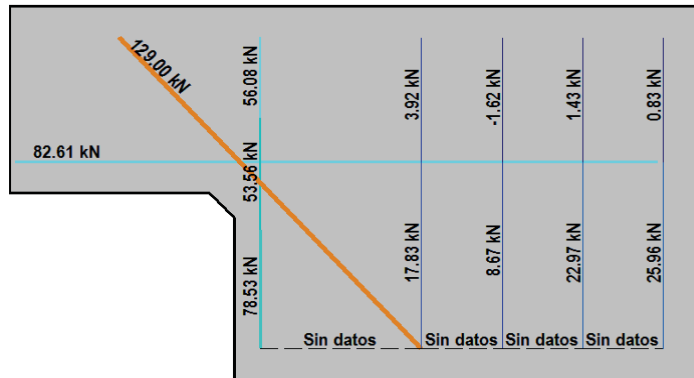
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

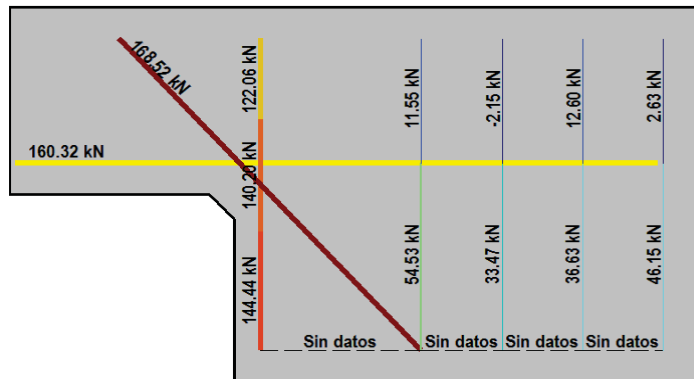
V (kN): 84,95
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,13



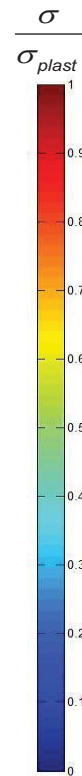
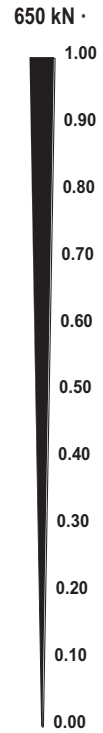
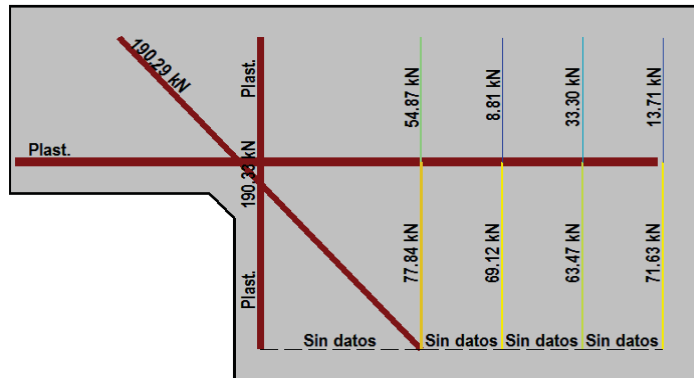
V (kN): 169,90
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,36







V (kN): 254,84
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 0,78





V (kN): 339,79
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 4,38





 		 		FICHA: 39.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.5 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL) FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)





VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Se generan de manera prácticamente simultánea dos fisuras desde los vértices que genera el bisel. La abertura de ambas fisuras es muy similar para todo el rango de cargas, tomando para cada carga el valor máximo de abertura de ambas fisuras.
 - Las fisuras anteriores arrancan con una inclinación de unos 45º y se mantienen más o menos paralelas.
 - La rotura de la pieza se produce por la progresión de una fisura que se genera desde el borde del apoyo y que progresa hasta juntarse con la fisura que parte del vértice superior del bisel.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º inclinado - 2º vertical - 3º horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima no hay una clara estabilización de la carga que va cayendo de manera más o menos continua.

H.40 DEB-3.5 (T2)

	 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	 <p>Gobierno de España</p>	 <p>Ministerio de Ciencia e Innovación</p>	<p>FICHA: 40.1</p> <p>ENSAYO: DEB-3.5 (T2)</p>
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			AUTOR: Jaime Mata Falcón
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1/B			

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.1/B
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 11/01/2012
 Edad (días): 40

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ12	Armado: 4φ10	Armado: 2φ12+1φ10
Área (cm ²): 4,52	Área (cm ²): 3,14	Área (cm ²): 3,05
α: 56%	β: 58%	γ: 51%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

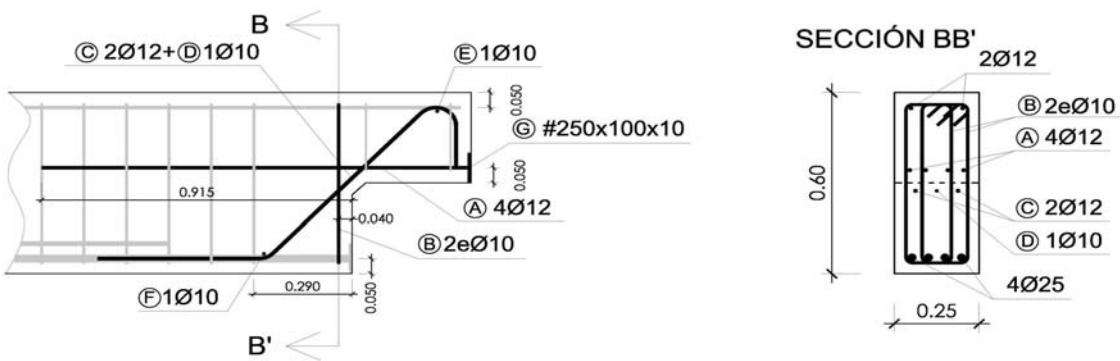
Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
Variante 2:	-	-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
33,1	3,05	0,00%	-	-

V última (kN): 342,36
 V (w=0,4 mm) (kN): 132,90 39%
 Modo de fallo: SY+SP (D-V-H)

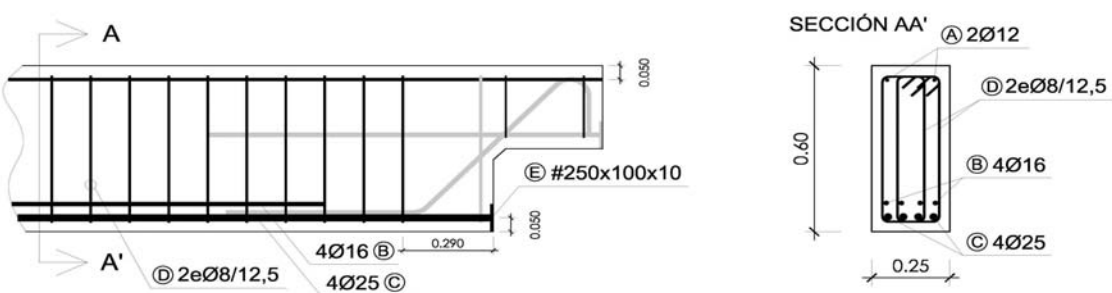
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

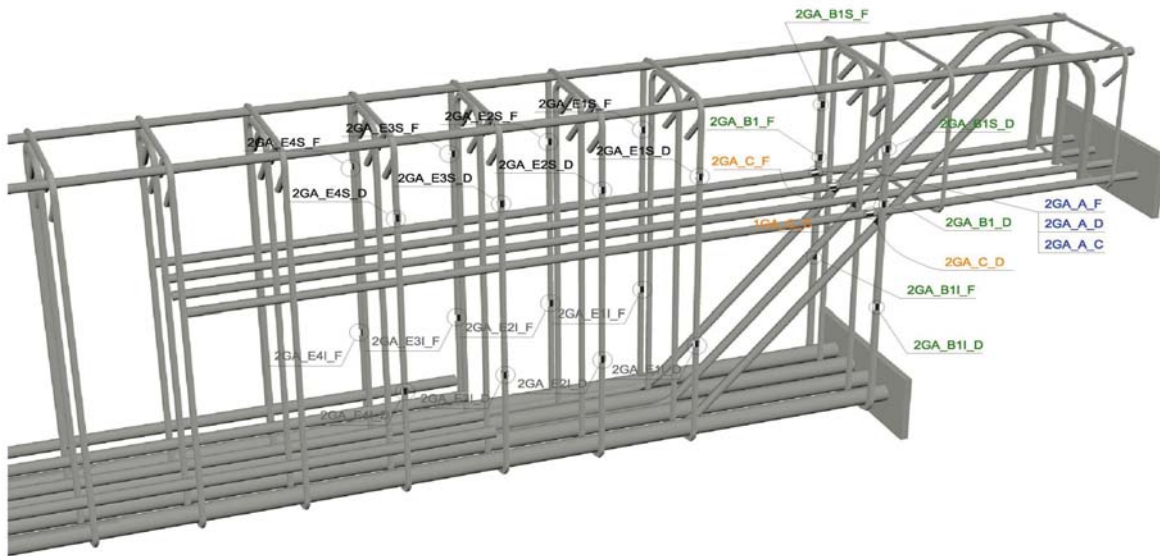
B2.- ARMADO DE LA VIGA



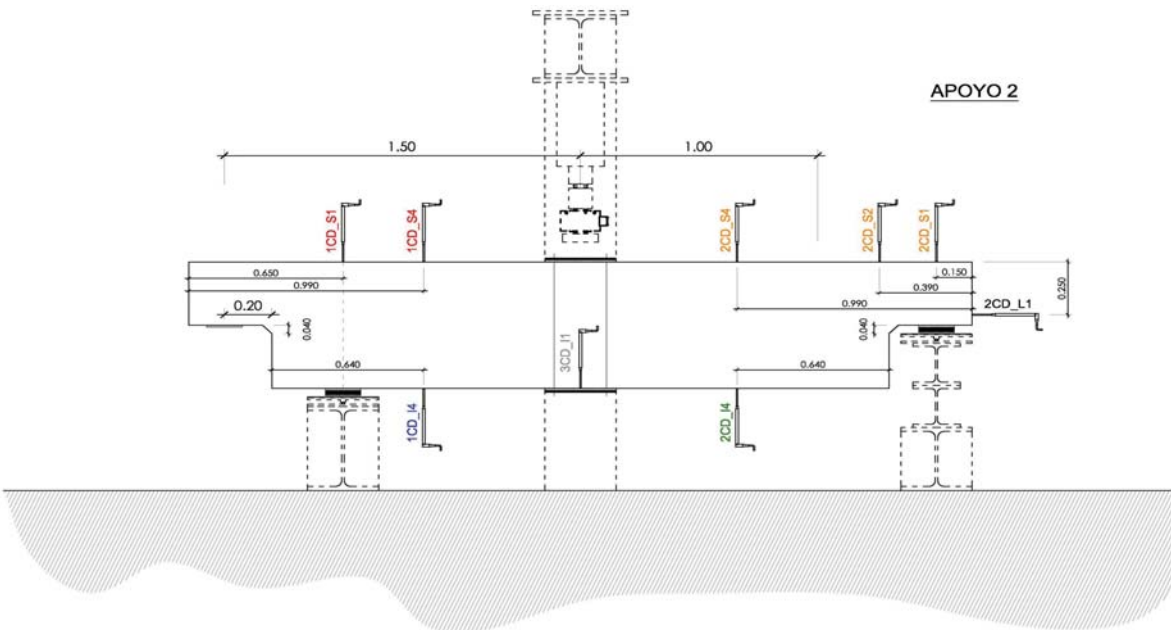
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



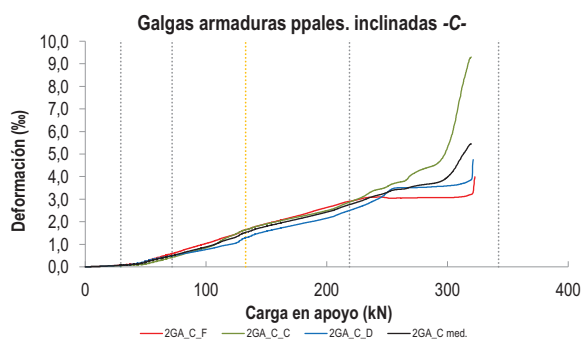
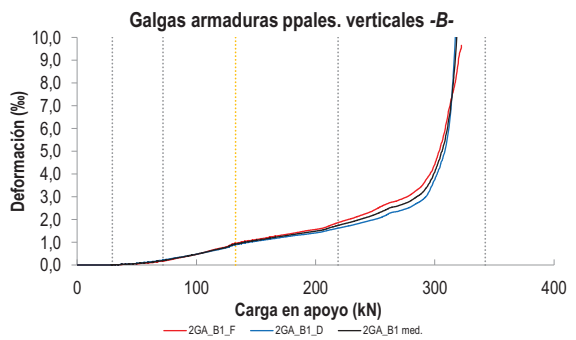
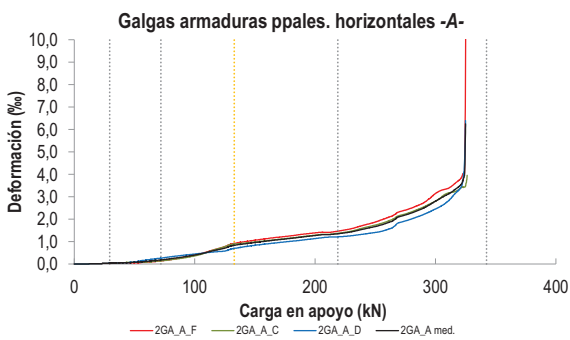
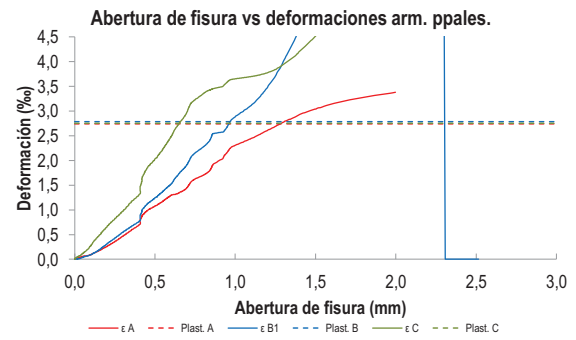
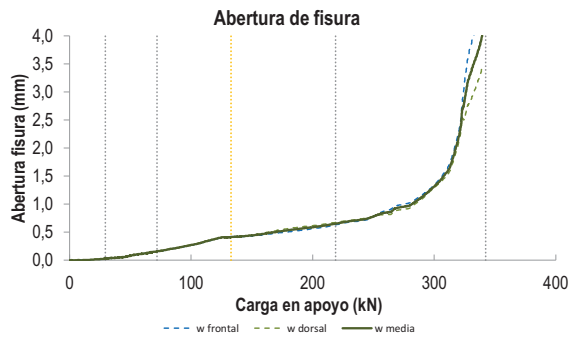
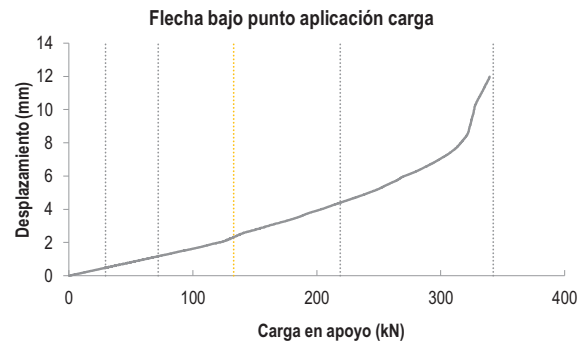
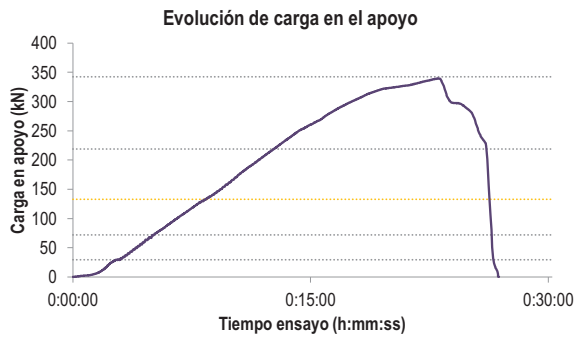
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA

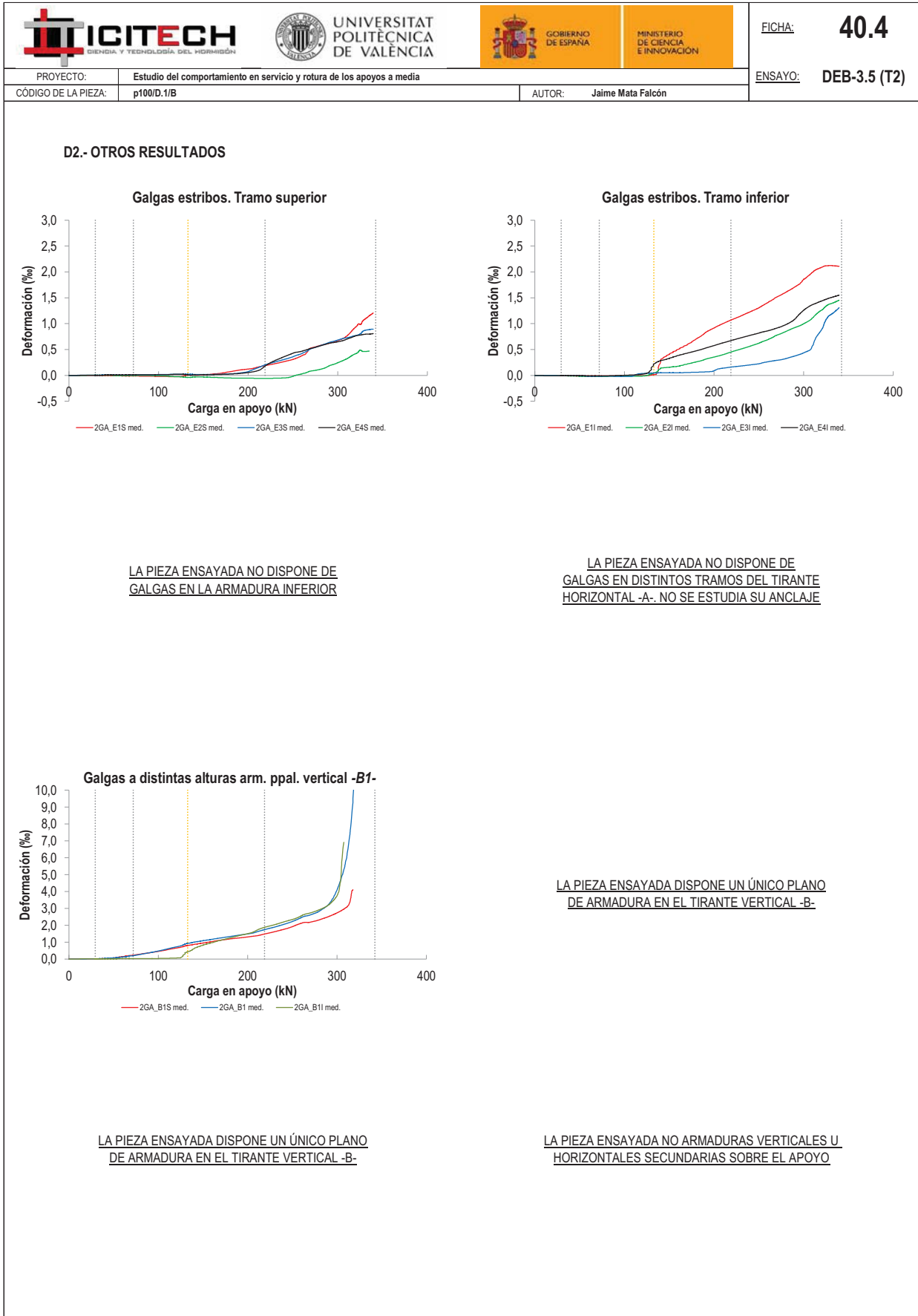


   		FICHA: 40.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.5 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES





   		FICHA: 40.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.5 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00
17,12	5%	0,00	0,28	0,01	0,00	-	-	0,03
34,24	10%	0,04	0,56	0,05	0,02	-	-	0,08
51,35	15%	0,09	0,84	0,08	0,08	-	-	0,23
68,47	20%	0,14	1,10	0,16	0,17	-	-	0,45
85,59	25%	0,21	1,39	0,28	0,33	-	-	0,69
102,71	30%	0,28	1,67	0,43	0,51	-	-	0,92
119,83	35%	0,38	1,98	0,65	0,72	-	-	1,24
136,94	40%	0,42	2,45	0,87	0,96	-	-	1,59
154,06	45%	0,45	2,86	0,99	1,12	-	-	1,85
171,18	50%	0,51	3,21	1,09	1,26	-	-	2,06
188,30	55%	0,56	3,62	1,20	1,40	-	-	2,27
205,42	60%	0,60	4,05	1,30	1,54	-	-	2,51
222,53	65%	0,67	4,49	1,37	1,79	-	-	2,82
239,65	70%	0,72	4,93	1,55	2,04	-	-	3,13
256,77	75%	0,83	5,48	1,78	2,38	-	-	3,41
273,89	80%	0,95	6,10	2,17	2,69	-	-	3,59
291,01	85%	1,15	6,69	2,53	3,31	-	-	3,74
308,12	90%	1,52	7,45	3,05	5,57	-	-	4,56
325,24	95%	2,86	9,49	3,91	11,31	-	-	5,44
342,36	100%	3,84	11,68	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	29,50	8,6%	0,00	0,48	0,04	0,01	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	72,00	21,0%	0,16	1,17	0,18	0,20	-	-	0,50
Abertura de fisura 0,20 mm	82,93	24,2%	0,20	1,35	0,26	0,31	-	-	0,65
Abertura de fisura 0,40 mm	132,90	38,8%	0,40	2,33	0,84	0,93	-	-	1,53
Abertura de fisura 0,60 mm	201,53	58,9%	0,60	3,95	1,28	1,50	-	-	2,44
Abertura de fisura 0,80 mm	253,41	74,0%	0,80	5,36	1,72	2,30	-	-	3,37
Primera plastificación	218,89	63,9%	0,65	4,40	1,35	1,74	-	-	2,75

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **40.6**

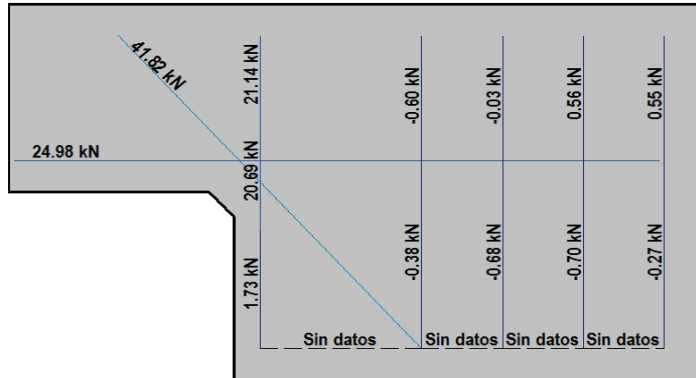
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100D.1/B

ENSAYO: **DEB-3.5 (T2)**

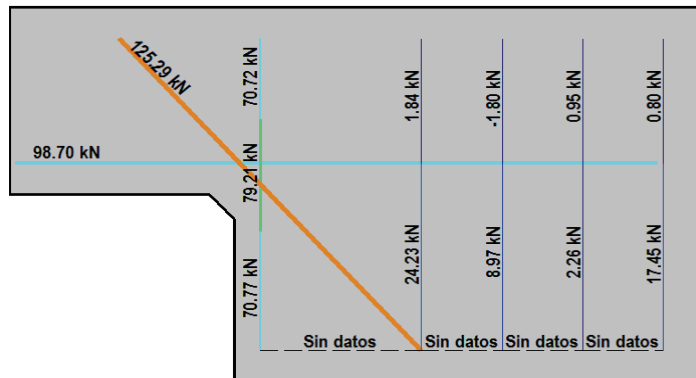
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

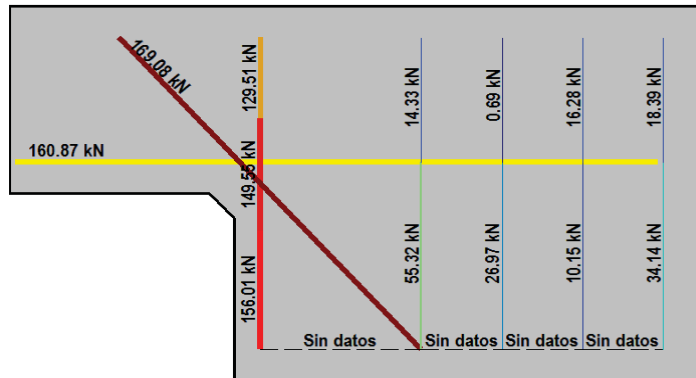
V (kN): 85,59
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,21



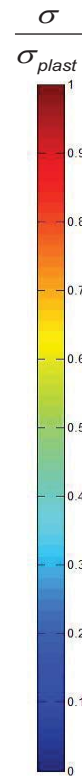
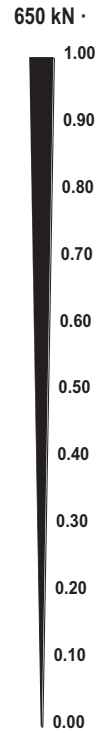
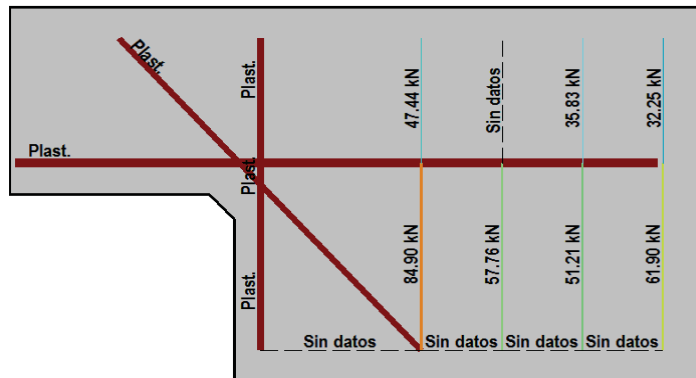
V (kN): 171,18
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,51







V (kN): 256,77
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 0,83




V (kN): 342,36
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 3,84




 		 		FICHA: 40.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.5 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Aparecen dos fisuras desde los vértices que define el bisel para cargas similares. La fisura superior tiene una abertura ligeramente superior tanto en la cara dorsal como en la frontal, siendo por tanto la que define la abertura de fisura de las gráficas. En la cara dorsal aparece una tercera fisura, para cargas cercanas a la carga máxima, entre las dos fisuras de los vértices del bisel.
 - Las fisuras anteriores arrancan con una inclinación de unos 45° y discurren más o menos paralelas.
 - Cerca de la carga máxima aparece una fisura desde el borde del apoyo que busca la cabeza de los estribos del tirante vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º inclinado - 2º vertical - 3º horizontal, pero prácticamente a la misma carga
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse con otras fisuras, entre otras la que parte del vértice superior del bisel, y acaba produciéndose el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Una vez alcanzada la carga máxima no se observa que la carga se estabilice en ningún valor, sino que va descendiendo de manera más o menos uniforme.

H.41 DEB-3.6 (T1)

				FICHA: 41.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.1/B
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 13/01/2012
 Edad (días): 42

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 5.65	Área (cm ²): 3.71	Área (cm ²): 0.00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

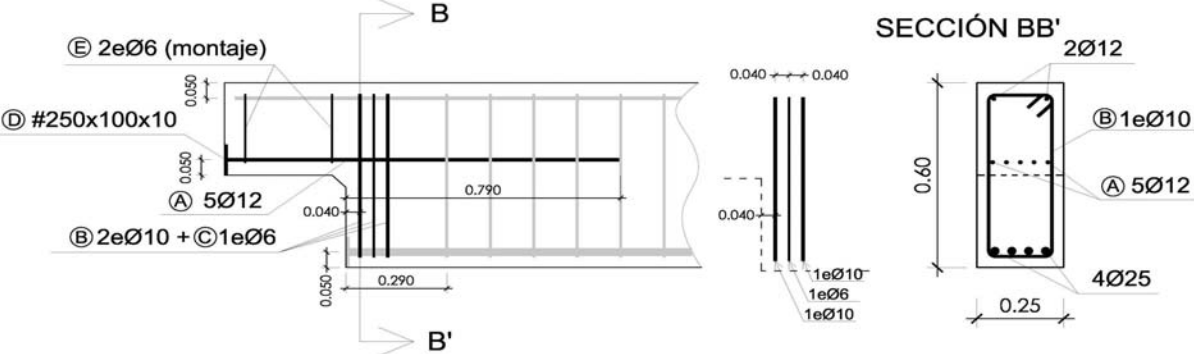
V última (kN): 226.97
 V (w=0,4 mm) (kN): 75.38 33%
 Modo de fallo: SY (V1-V2-V3-H)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
Variante 2:	-	

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
36.7	3.26	0.00%	- -

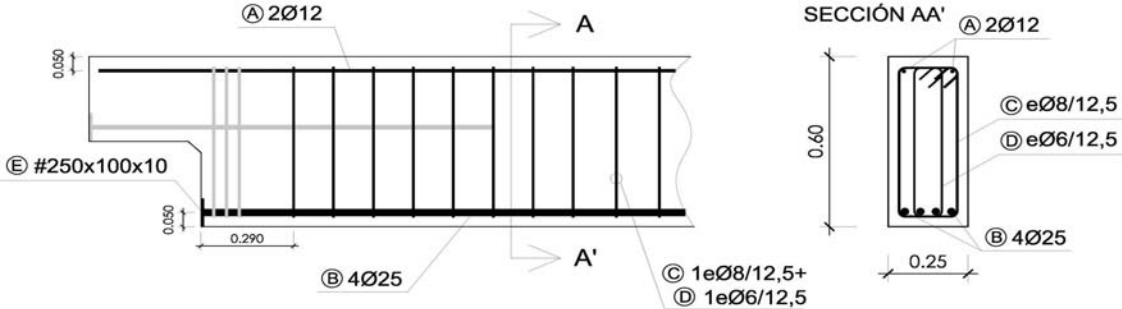
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

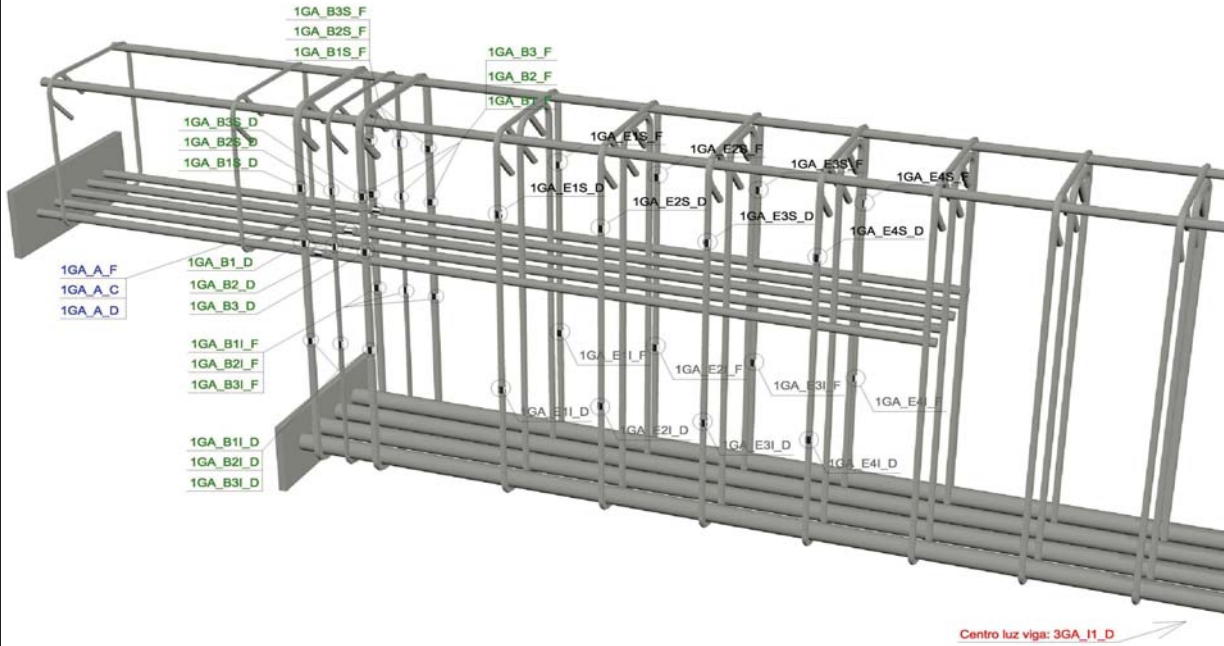
B2.- ARMADO DE LA VIGA



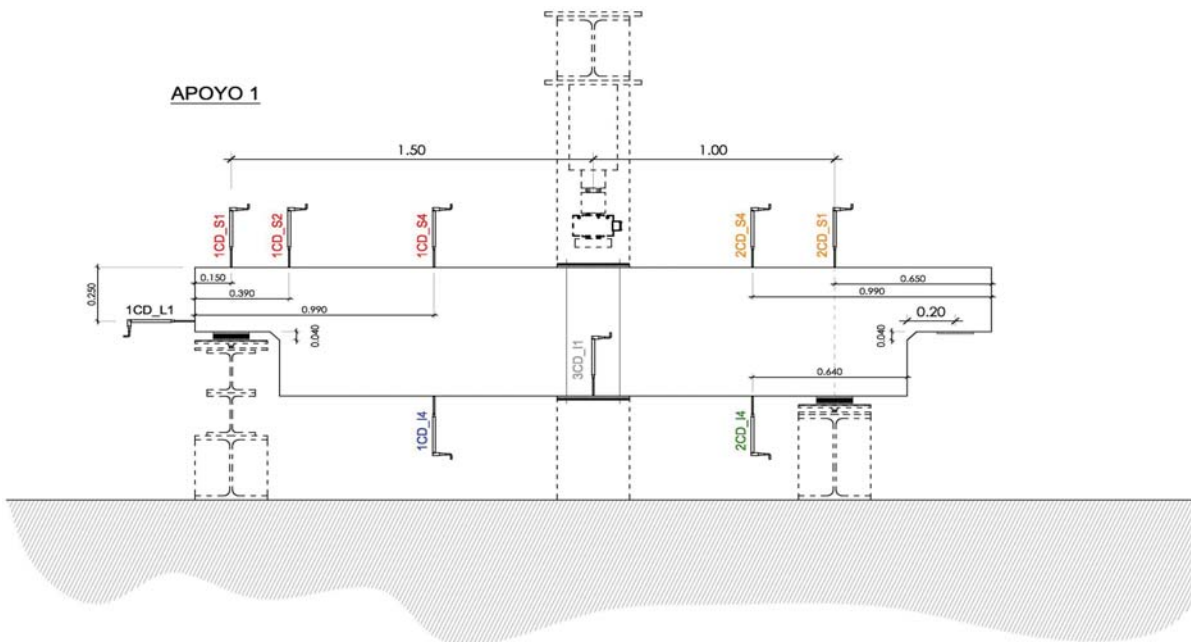
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



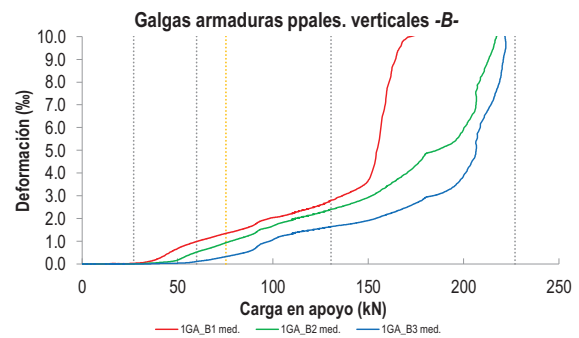
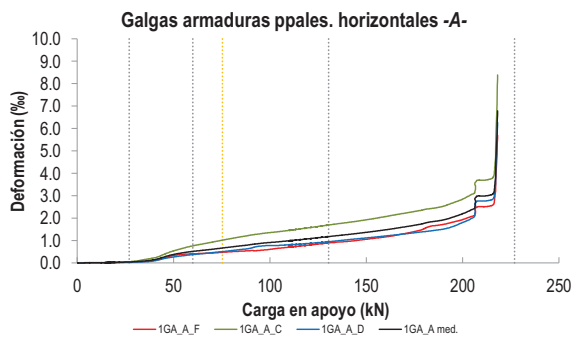
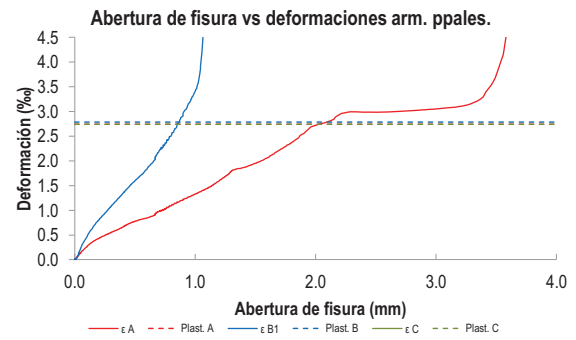
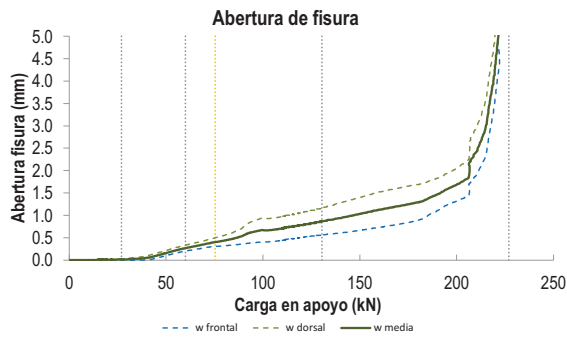
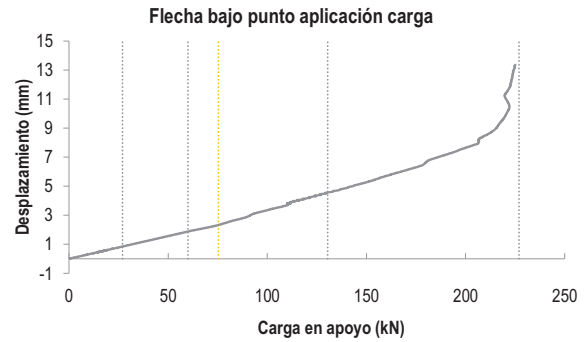
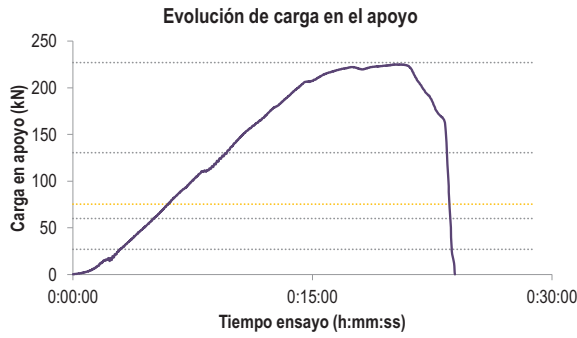
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 41.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.6 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

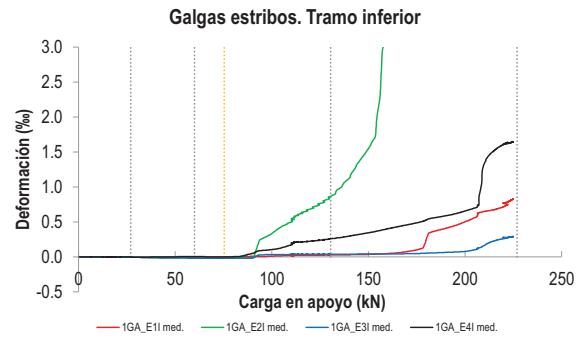
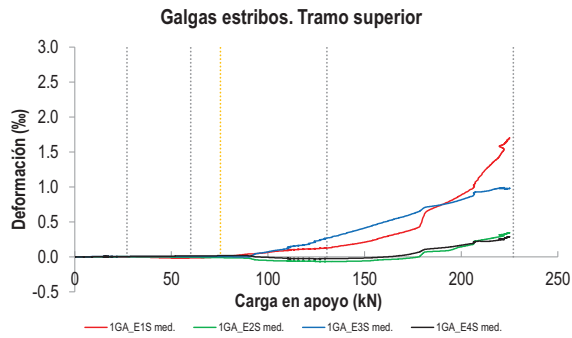
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



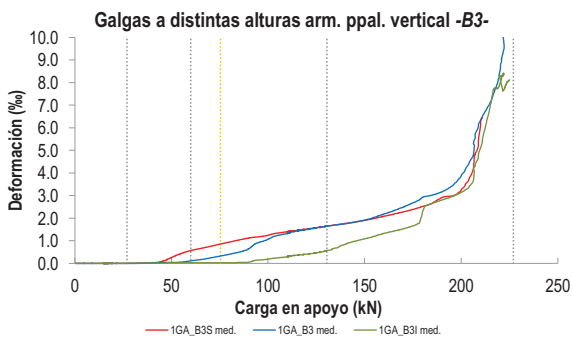
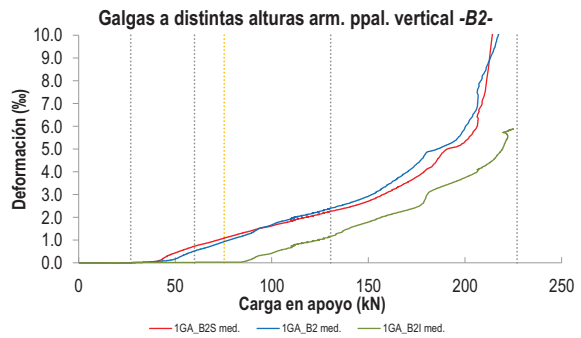
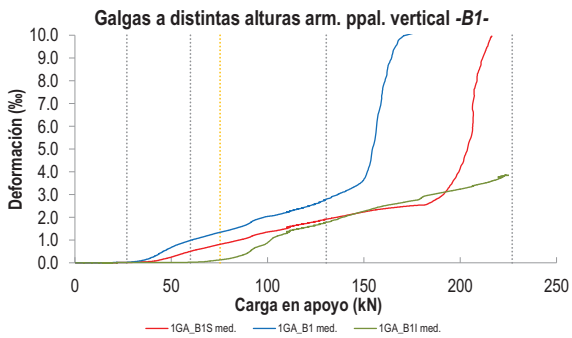
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 41.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.6 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0.00	0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
11.35	5%	0.00	0.35	0.01	0.01	0.00	0.00	-
22.70	10%	0.00	0.71	0.03	0.02	0.00	0.00	-
34.04	15%	0.03	1.07	0.08	0.09	0.03	0.00	-
45.39	20%	0.11	1.43	0.28	0.49	0.10	0.03	-
56.74	25%	0.23	1.77	0.48	0.90	0.42	0.07	-
68.09	30%	0.34	2.10	0.59	1.18	0.72	0.21	-
79.44	35%	0.43	2.50	0.71	1.43	1.04	0.39	-
90.79	40%	0.57	2.96	0.83	1.76	1.38	0.70	-
102.13	45%	0.67	3.43	0.93	2.06	1.75	1.15	-
113.48	50%	0.74	3.93	1.01	2.30	2.02	1.40	-
124.83	55%	0.82	4.37	1.13	2.61	2.27	1.57	-
136.18	60%	0.91	4.76	1.23	3.01	2.54	1.71	-
147.53	65%	1.01	5.18	1.34	3.48	2.85	1.87	-
158.88	70%	1.11	5.66	1.46	7.02	3.36	2.15	-
170.22	75%	1.21	6.11	1.61	9.88	4.00	2.49	-
181.57	80%	1.31	6.70	1.78	10.17	4.84	2.93	-
192.92	85%	1.53	7.29	1.99	10.51	5.28	3.30	-
204.27	90%	1.96	8.01	2.60	14.63	7.00	4.91	-
215.62	95%	3.80	9.44	3.57	15.90	9.59	7.83	-
226.97	100%	9.44	12.55	-	15.90	-	11.19	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	27.00	11.9%	0.00	0.85	0.04	0.03	0.01	0.00	-
Punto de cambio de rigidez	60.00	26.4%	0.27	1.88	0.51	0.99	0.53	0.11	-
Abertura de fisura 0,20 mm	53.39	23.5%	0.20	1.68	0.43	0.81	0.31	0.05	-
Abertura de fisura 0,40 mm	75.38	33.2%	0.40	2.33	0.66	1.35	0.93	0.32	-
Abertura de fisura 0,60 mm	93.48	41.2%	0.60	3.11	0.85	1.87	1.50	0.85	-
Abertura de fisura 0,80 mm	120.65	53.2%	0.80	4.19	1.08	2.47	2.17	1.50	-
Primera plastificación	130.48	57.5%	0.86	4.55	1.17	2.77	2.39	1.64	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **41.6**

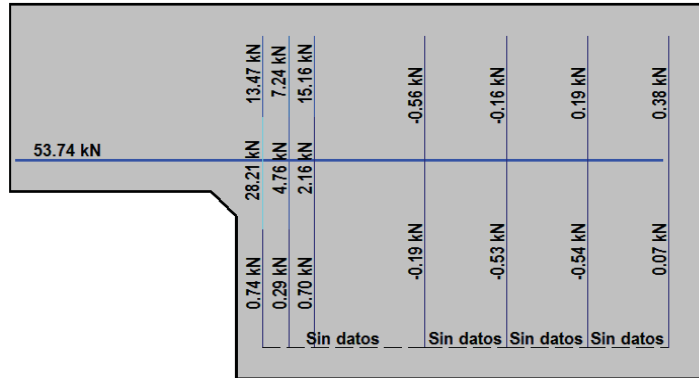
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B

AUTOR: Jaime Mata Falcón

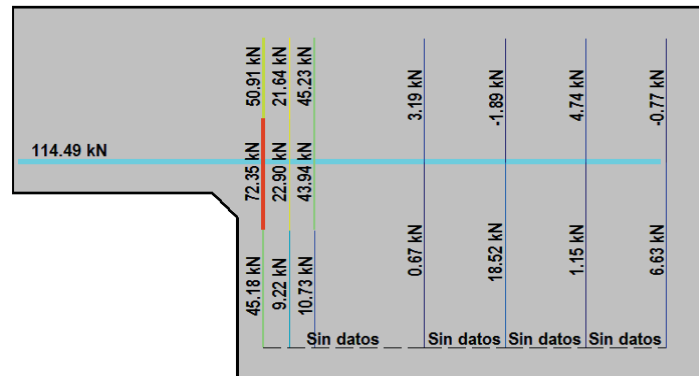
ENSAYO: **DEB-3.6 (T1)**

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

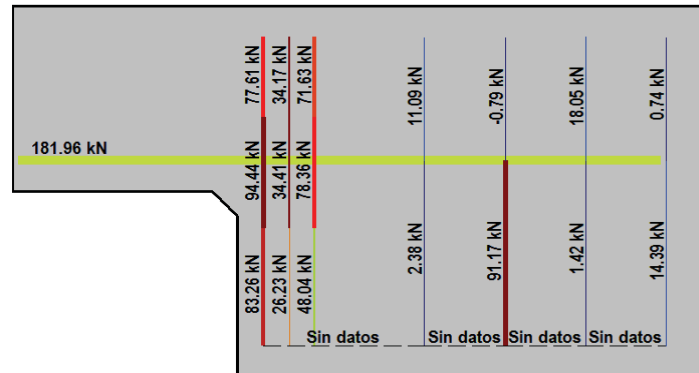
V (kN): 56.74
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0.23



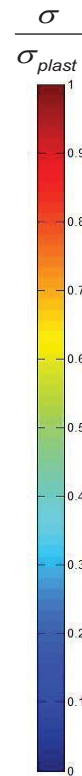
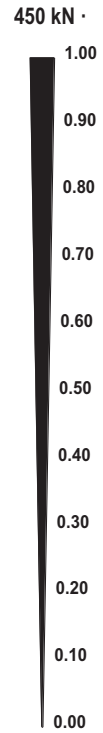
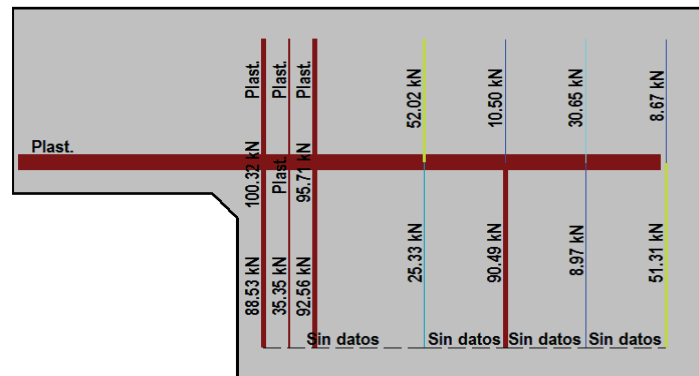
V (kN): 113.48
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0.74







V (kN): 170.22
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1.21





V (kN): 226.97
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 9.44





 		 		FICHA: 41.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.6 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL) FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)





VISTA GENERAL DE LA PIEZA AL 87,5% DE LA CARGA MÁXIMA VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - En la cara frontal se abren tres fisuras en el bisel, dos generadas en los vértices del mismo y otra entre esas dos. La fisura superior es la que tiene una mayor abertura, pero las tres fisuras tienen aberturas similares. En la cara dorsal se abren sólo dos fisuras en los vértices definidos por el bisel; la fisura superior tiene claramente una mayor abertura. En la cara frontal la abertura de fisura resultante es claramente inferior a la de la cara dorsal, puesto que en la primera la abertura se reparte de manera más uniforme entre las distintas fisuras.
 - Las fisuras que parten del bisel tienen en todos los casos una inclinación de unos 45°.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical (1er plano) - 2º vertical (2º plano) - 3º vertical (3er plano) - 4º horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la parte superior del bisel, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima de la pieza la carga va descendiendo de manera uniforme sin producirse una estabilización clara de la misma.

H.42 DEB-3.6 (T2)

				FICHA: 42.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.1/B
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 13/01/2012
 Edad (días): 42

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 5,65	Área (cm ²): 3,71	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

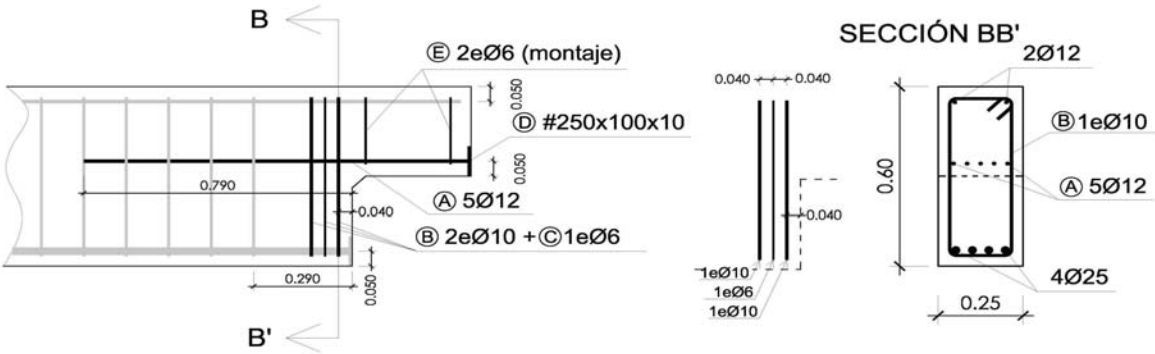
V última (kN): 221,26
 V (w=0,4 mm) (kN): 69,60 31%
 Modo de fallo: SY+SP (H-V2-V1-V3)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto	-
Variante 2:	-	-	-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
36,7	3,26	0,00%	- -

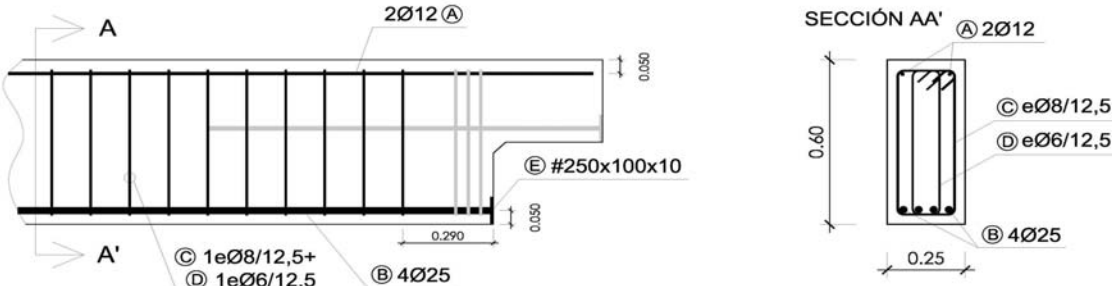
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

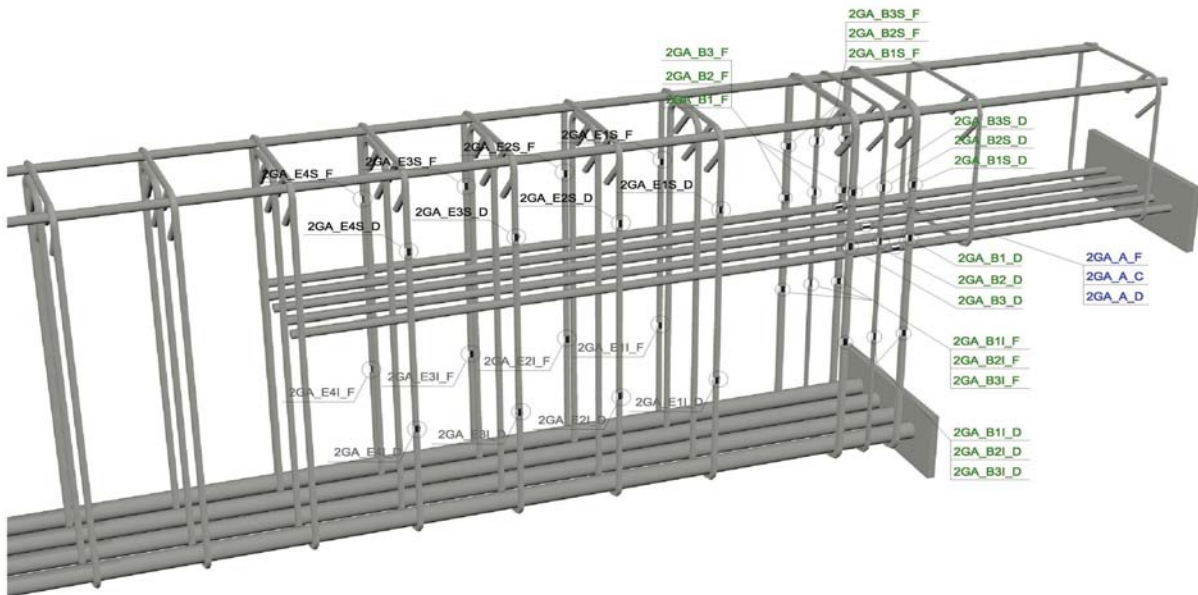
B2.- ARMADO DE LA VIGA



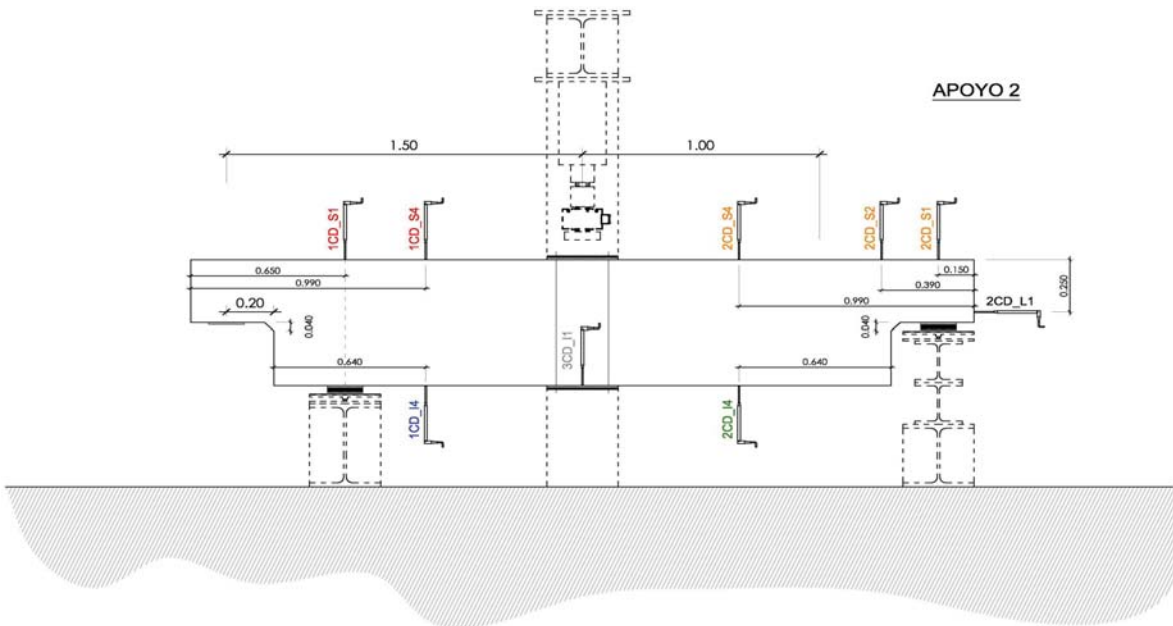
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



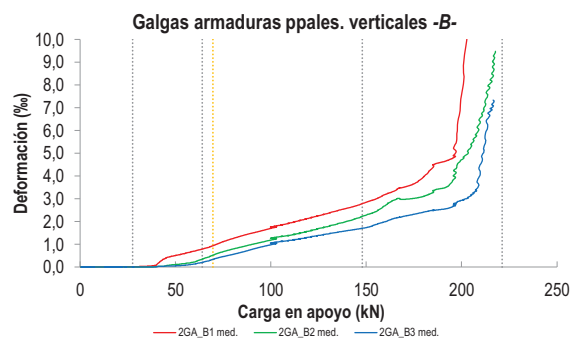
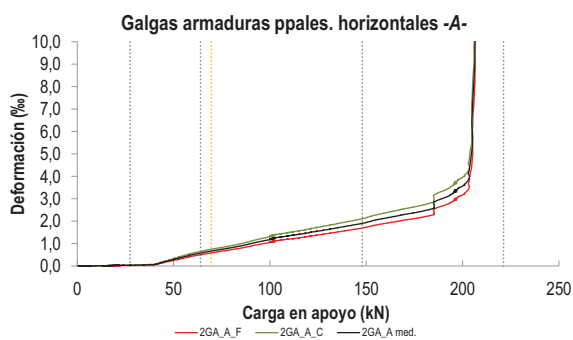
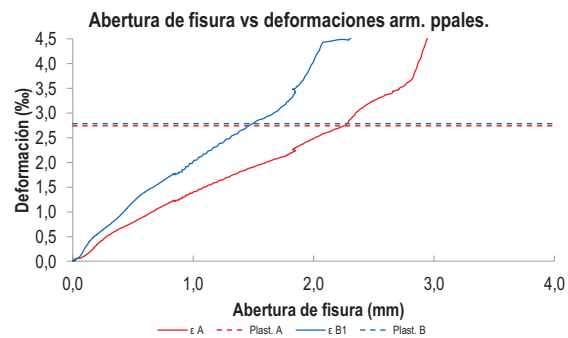
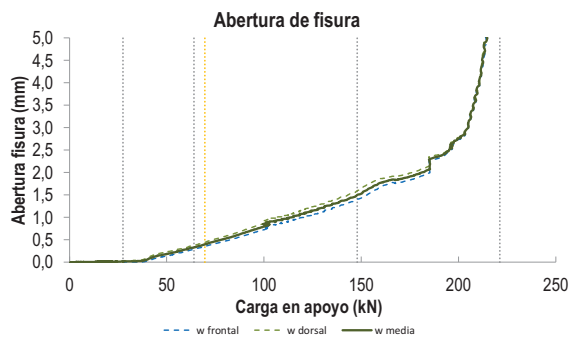
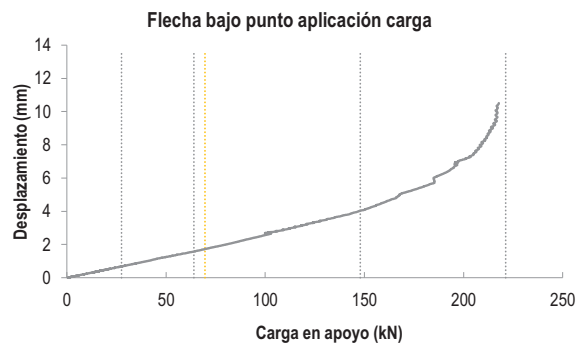
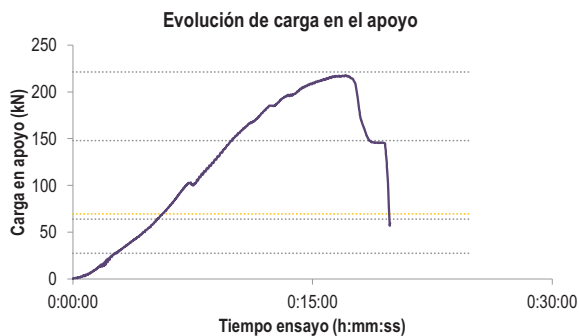
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



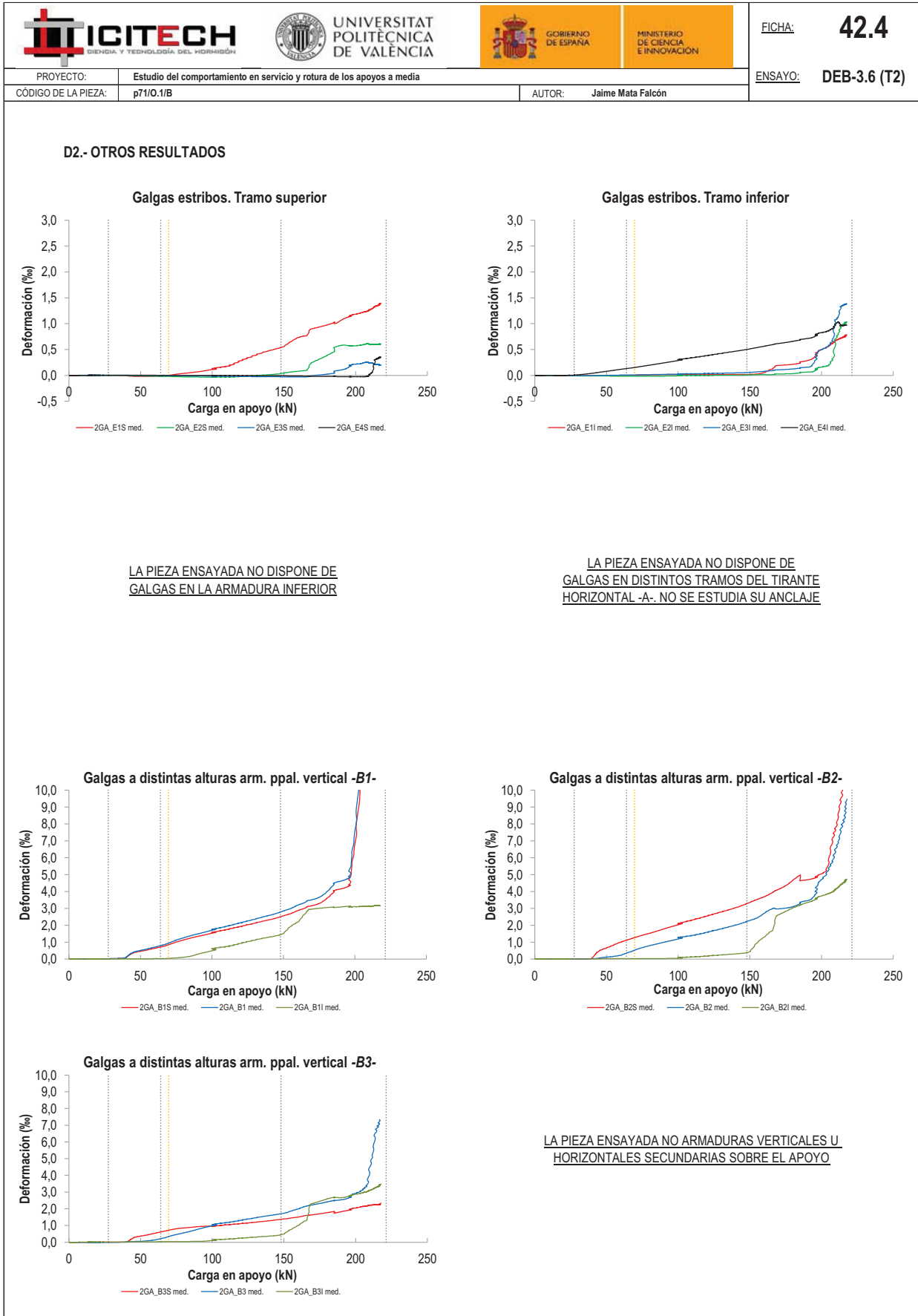
   		FICHA: 42.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.6 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 42.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.6 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
11,06	5%	0,00	0,28	0,01	0,00	0,00	0,00	-
22,13	10%	0,00	0,55	0,03	0,01	0,00	0,00	-
33,19	15%	0,02	0,82	0,04	0,03	0,00	0,00	-
44,25	20%	0,13	1,12	0,17	0,38	0,05	0,04	-
55,31	25%	0,24	1,38	0,41	0,61	0,16	0,09	-
66,38	30%	0,36	1,64	0,61	0,84	0,41	0,25	-
77,44	35%	0,50	1,93	0,78	1,19	0,74	0,51	-
88,50	40%	0,64	2,24	0,97	1,46	0,96	0,74	-
99,57	45%	0,82	2,62	1,20	1,72	1,22	1,01	-
110,63	50%	0,96	2,92	1,36	1,95	1,41	1,18	-
121,69	55%	1,10	3,25	1,51	2,19	1,62	1,34	-
132,75	60%	1,26	3,57	1,67	2,43	1,85	1,50	-
143,82	65%	1,41	3,88	1,83	2,67	2,10	1,65	-
154,88	70%	1,66	4,31	2,05	2,99	2,44	1,86	-
165,94	75%	1,83	4,88	2,24	3,41	2,97	2,17	-
177,01	80%	1,94	5,38	2,41	3,78	3,05	2,36	-
188,07	85%	2,27	6,03	2,84	4,52	3,38	2,51	-
199,13	90%	2,66	6,97	3,45	6,20	4,35	2,82	-
210,20	95%	4,08	8,29	9,93	16,42	6,67	4,75	-
221,26	100%	6,72	10,12	-	-	9,09	7,28	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	27,50	12,4%	0,00	0,69	0,03	0,02	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	64,00	28,9%	0,33	1,58	0,58	0,80	0,36	0,21	-
Abertura de fisura 0,20 mm	51,73	23,4%	0,20	1,29	0,34	0,54	0,13	0,06	-
Abertura de fisura 0,40 mm	69,60	31,5%	0,40	1,73	0,67	0,94	0,52	0,34	-
Abertura de fisura 0,60 mm	85,70	38,7%	0,60	2,16	0,91	1,39	0,91	0,67	-
Abertura de fisura 0,80 mm	100,13	45,3%	0,80	2,64	1,21	1,74	1,24	1,03	-
Primera plastificación	147,93	66,9%	1,50	4,04	1,91	2,80	2,24	1,71	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

FICHA:

42.6

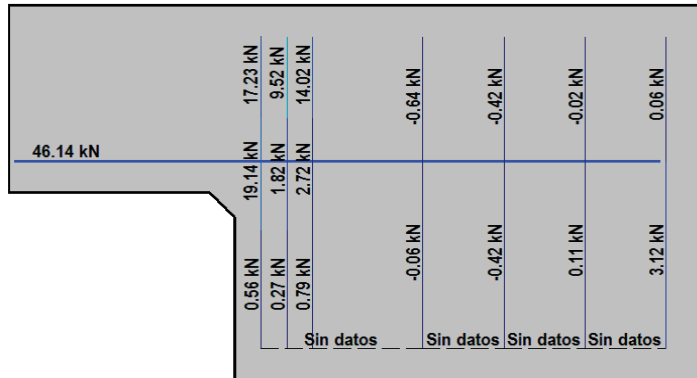
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B

AUTOR: Jaime Mata Falcón

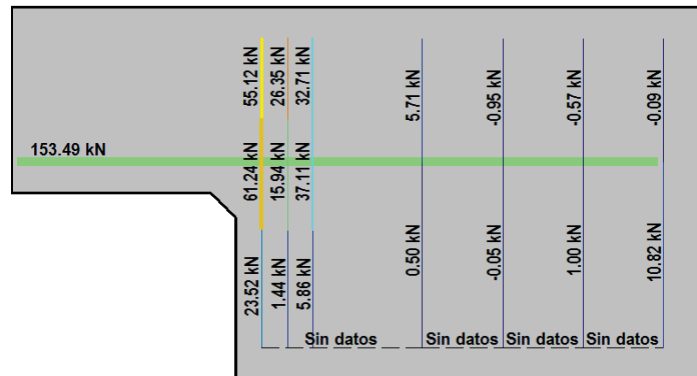
ENSAYO: DEB-3.6 (T2)

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

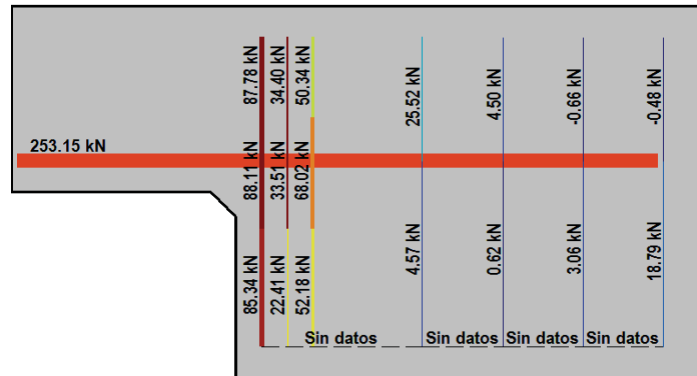
V (kN): 55,31
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,24



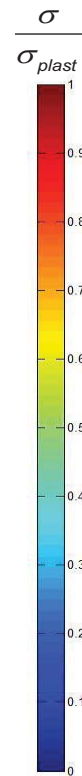
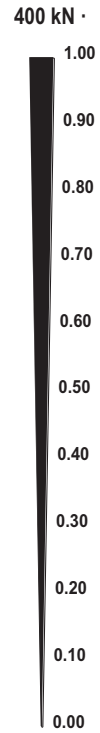
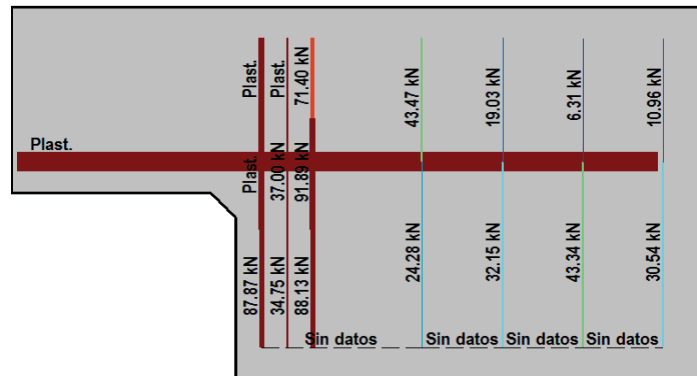
V (kN): 110,63
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,96







V (kN): 165,94
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,83




V (kN): 221,26
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 6,72




 		 		FICHA: 42.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.6 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte del vértice superior del bisel es la que primero se abre y tiene una abertura claramente superior, tanto para la cara dorsal como para la frontal.
 - La fisura del vértice superior se divide cerca del borde en dos fisuras. La inclinación de las mismas está en el entorno de los 45°.
 - Cerca de la carga máxima aparecen fisuras que parten del apoyo y que buscan la cabeza de los estribos que componen el tirante vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º horizontal - 2º vertical (2º plano) - 3º vertical (1er plano) - 4º vertical (3er plano)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la parte superior del bisel, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima el valor de la carga se estabiliza tras caer un 34%.

H.43 DEB-3.7 (T1)

				FICHA: 43.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.7 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/F40
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 31/05/2012
 Edad (días): 27

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

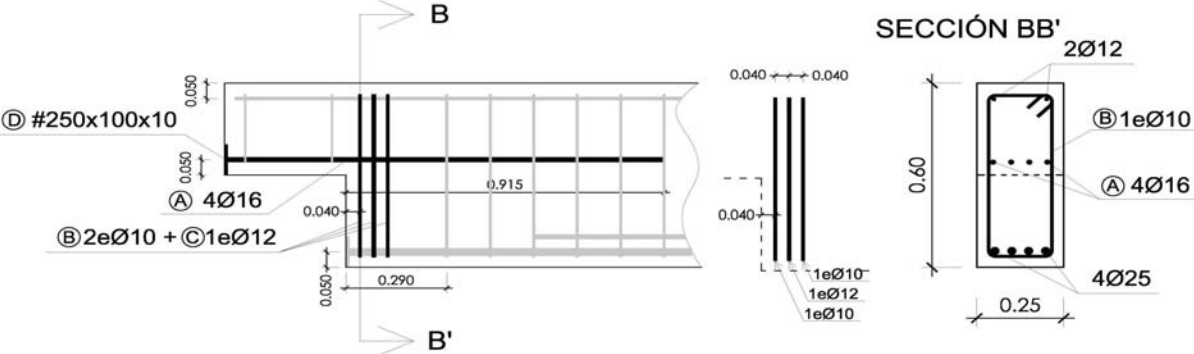
Variante 1:	Fibras 40kg/m3	-
Variante 2:	-	-

V última (kN): 332,72
 V (w=0,4 mm) (kN): 120,64 36%
 Modo de fallo: SY (V1-V2-H-V3)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
45,5	-	0,50%	3,95	2,24

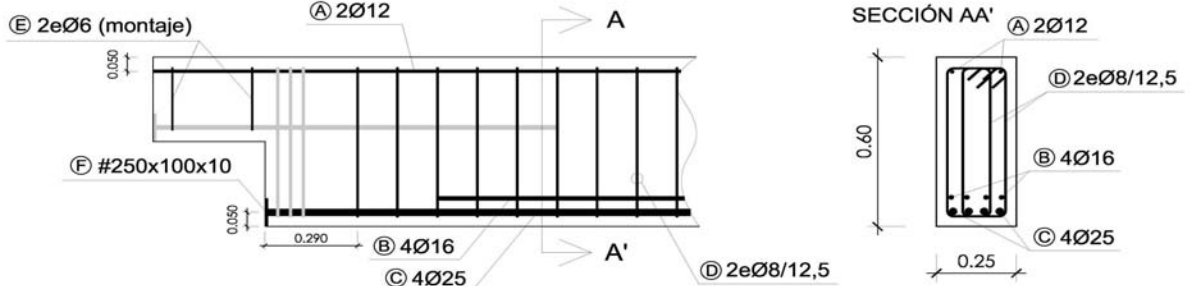
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

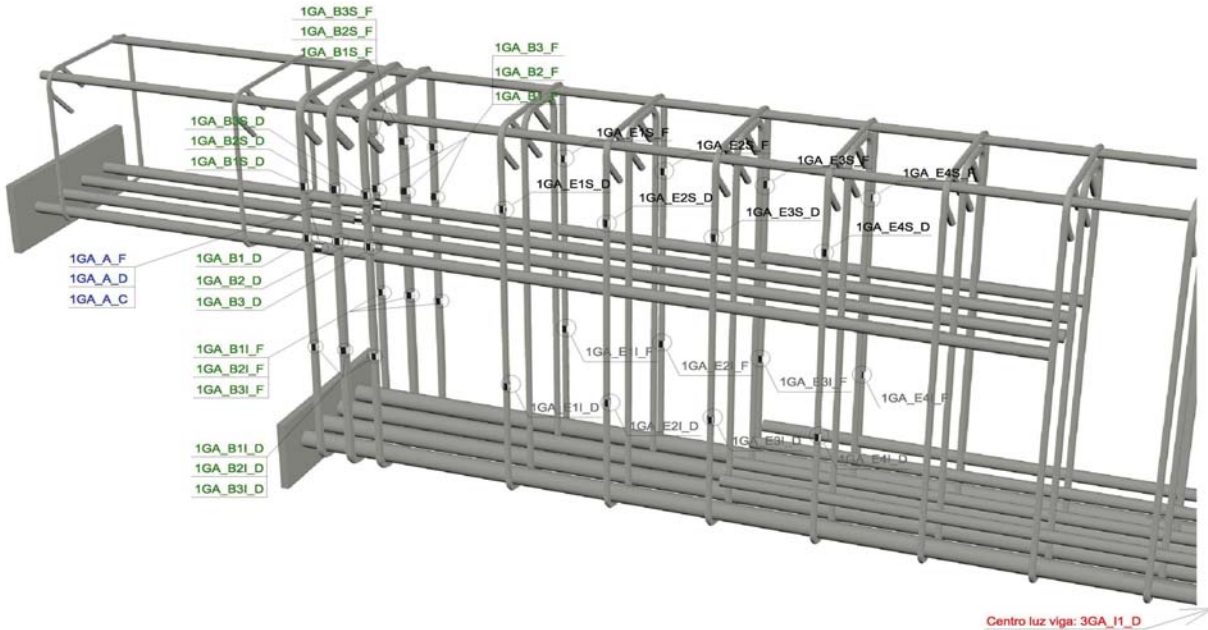
B2.- ARMADO DE LA VIGA



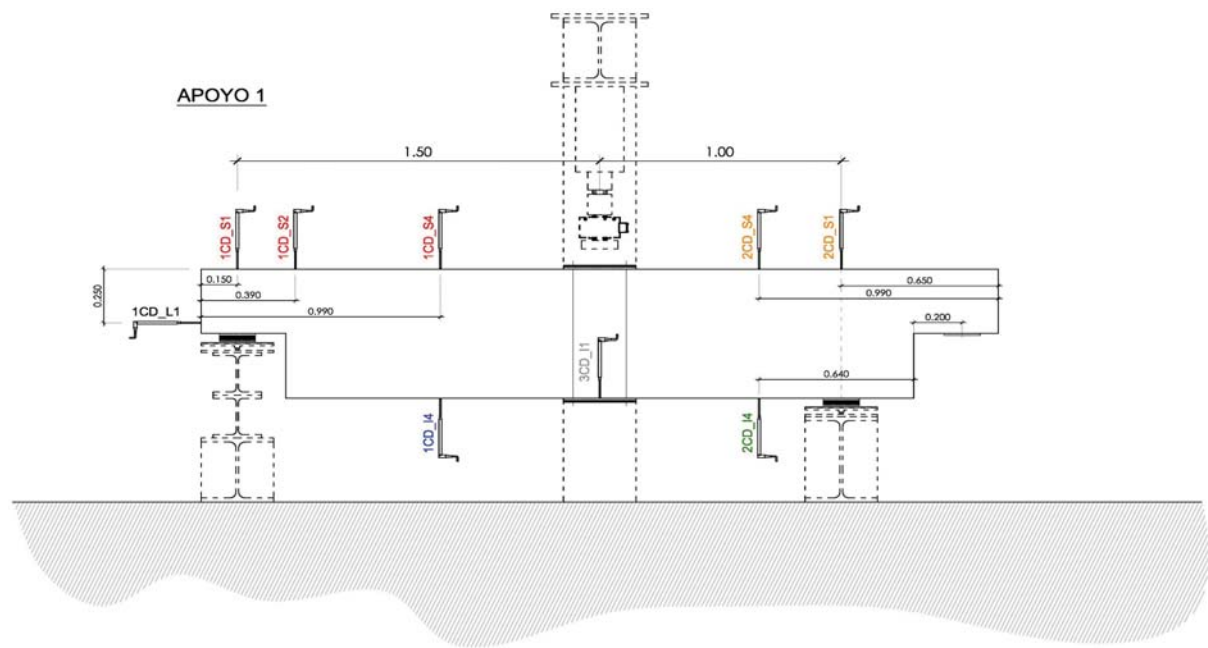
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



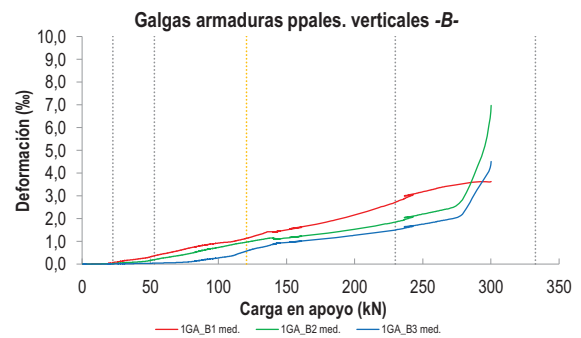
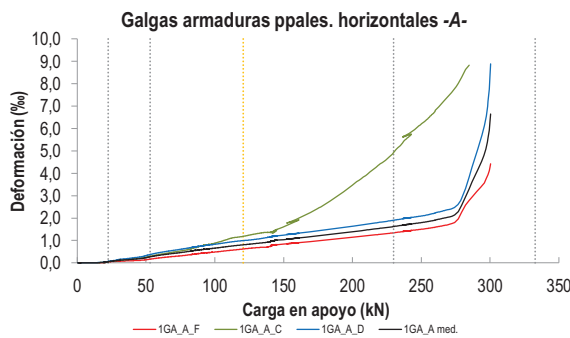
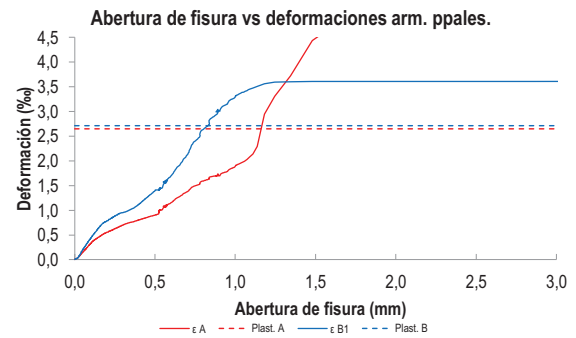
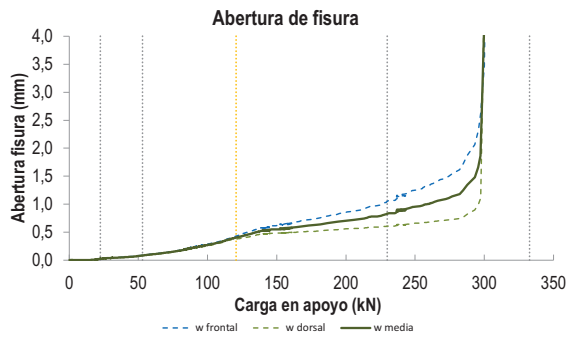
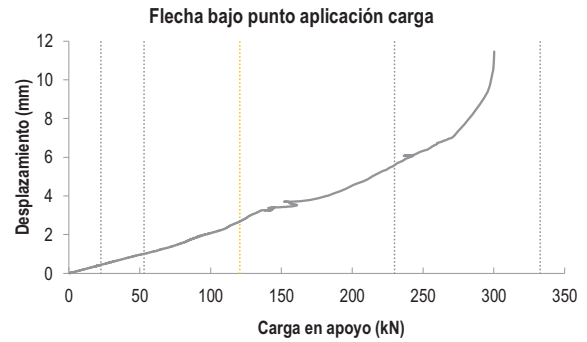
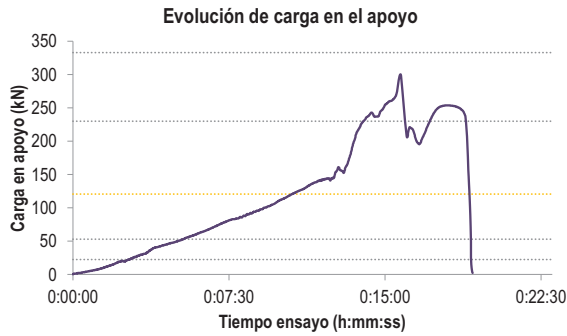
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 43.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.7 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

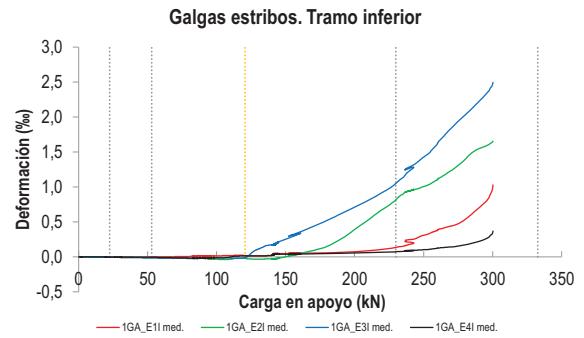
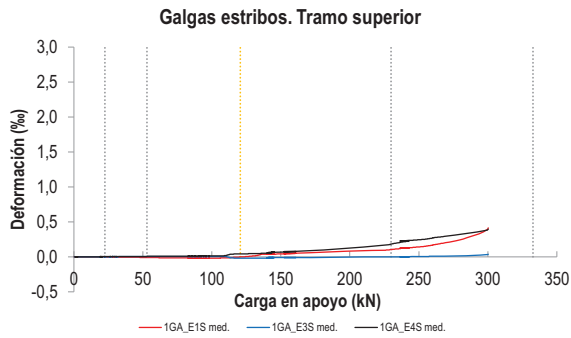
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

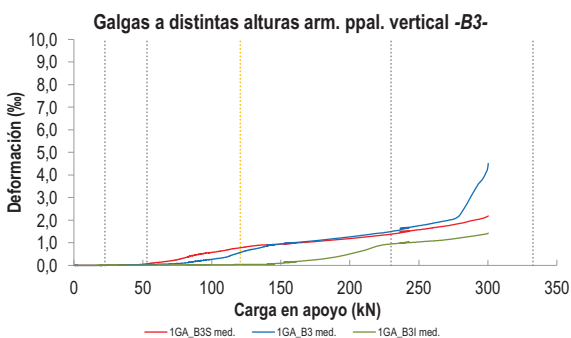
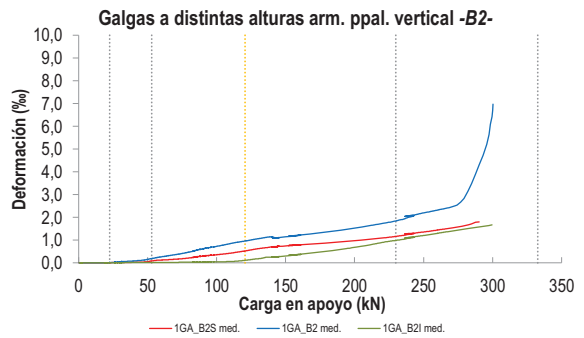
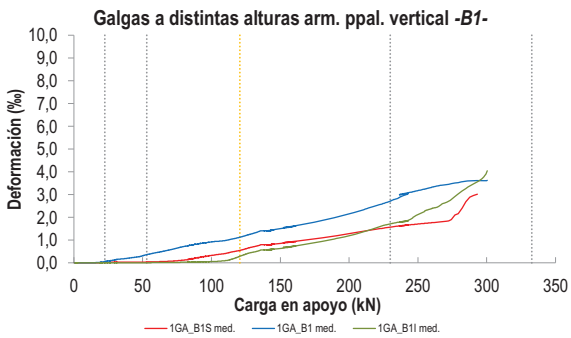
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-3.7 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/F40	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

				FICHA: 43.5
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.7 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA





Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
16,64	5%	0,00	0,32	0,01	0,01	0,01	0,00	-
33,27	10%	0,04	0,64	0,13	0,17	0,07	0,02	-
49,91	15%	0,07	0,96	0,23	0,31	0,16	0,03	-
66,54	20%	0,12	1,27	0,40	0,53	0,33	0,06	-
83,18	25%	0,19	1,66	0,53	0,76	0,52	0,13	-
99,82	30%	0,27	2,07	0,66	0,92	0,72	0,27	-
116,45	35%	0,38	2,55	0,78	1,07	0,92	0,49	-
133,09	40%	0,48	3,16	0,89	1,35	1,09	0,75	-
149,72	45%	0,56	3,54	1,05	1,52	1,16	0,95	-
166,36	50%	0,59	3,75	1,15	1,68	1,26	1,04	-
183,00	55%	0,65	4,02	1,26	1,89	1,38	1,14	-
199,63	60%	0,71	4,52	1,39	2,15	1,52	1,26	-
216,27	65%	0,76	5,09	1,52	2,45	1,69	1,39	-
232,90	70%	0,86	5,88	1,67	2,89	1,96	1,58	-
249,54	75%	0,95	6,28	1,79	3,16	2,18	1,74	-
266,18	80%	1,04	6,85	1,98	3,38	2,38	1,92	-
282,81	85%	1,26	8,08	2,95	3,57	3,34	2,59	-
299,45	90%	2,64	10,14	5,56	3,61	6,00	4,08	-
316,08	95%	-	-	-	-	-	-	-
332,72	100%	-	-	-	-	-	-	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS


Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	22,53	6,8%	0,02	0,43	0,06	0,06	0,02	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	53,00	15,9%	0,08	1,01	0,27	0,36	0,19	0,04	-
Abertura de fisura 0,20 mm	84,86	25,5%	0,20	1,72	0,55	0,78	0,55	0,15	-
Abertura de fisura 0,40 mm	120,64	36,3%	0,40	2,69	0,81	1,13	0,96	0,57	-
Abertura de fisura 0,60 mm	160,38	48,2%	0,60	3,61	1,11	1,62	1,22	1,00	-
Abertura de fisura 0,80 mm	225,87	67,9%	0,80	5,46	1,60	2,65	1,80	1,47	-
Primera plastificación	229,87	69,1%	0,82	5,58	1,62	2,71	1,84	1,50	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas


   		FICHA: 43.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.7 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se producen unas oscilaciones en la carga muy importantes a partir de 150 kN. Por este motivo se realiza un promediado de los datos; se mantiene la carga máxima del ensayo como la carga máxima alcanzada sin promediar: por este motivo las distintas curvas (están suavizadas) no alcanzan a la línea de carga máxima.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio. También se generan otras fisuras cercanas de menor abertura.
 - La fisura anterior tiene una inclinación de unos 45°. En la cara frontal al encontrarse con el tirante vertical se divide, manteniendo las dos fisuras generadas una inclinación media de 45°.
 - Al alcanzar la carga máxima aparece una fisura de gran abertura que parte desde el extremo del neopreno en el apoyo y que con una inclinación de unos 45° busca la cabeza de los estribos que conforman la armadura vertical. La progresión y abertura de esta fisura es la que produce el fallo de la pieza.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Orden de plastificación de tirantes principales: 1º vertical (1er plano) - 2º vertical (2º plano) - 3º horizontal - 4º vertical (3er plano)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La pieza pierde rápidamente la carga sin producirse una estabilización de la misma.

H.44 DEB-3.7 (T2)

				FICHA: 44.1
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.7 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/F40	AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/F40
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 31/05/2012
 Edad (días): 27

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1:	Variante 2:
Fibras 40kg/m3	-
-	-

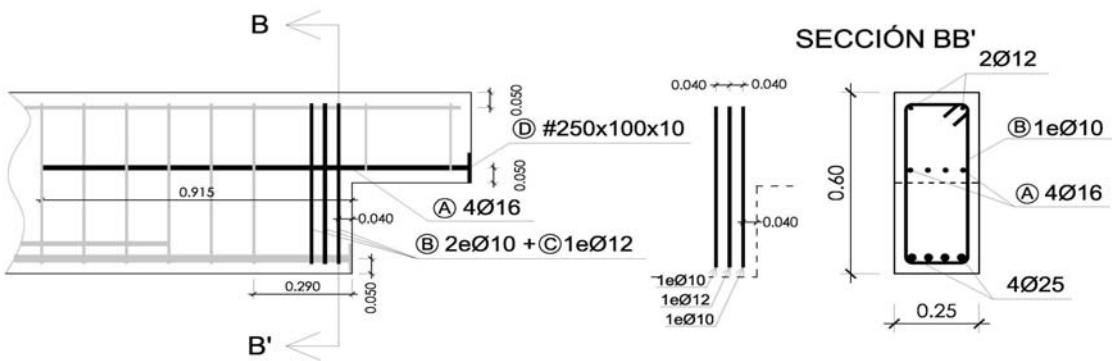
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
45,5	-	0,50%	3,95	2,24

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 328,33
 V (w=0,4 mm) (kN): 102,07 31%
 Modo de fallo: SY (V1-V2-H-V3)

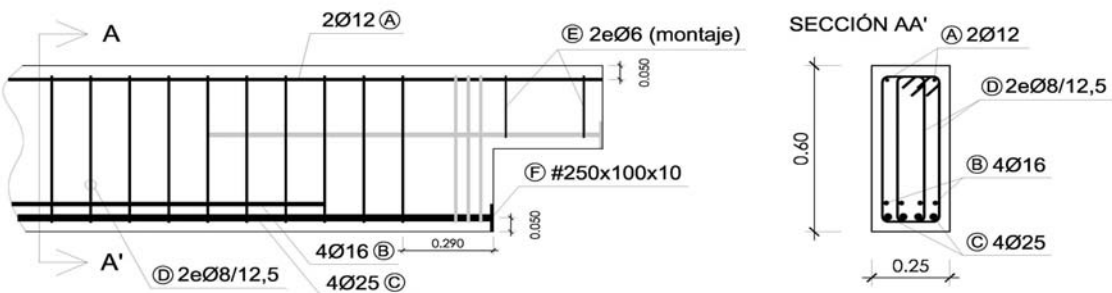
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

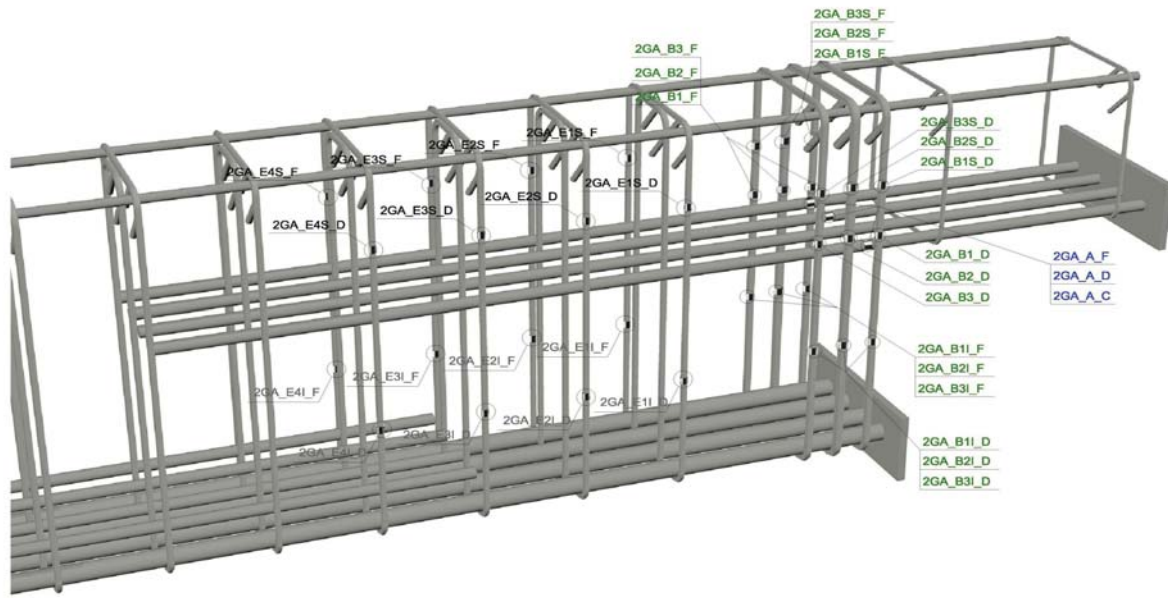
B2.- ARMADO DE LA VIGA



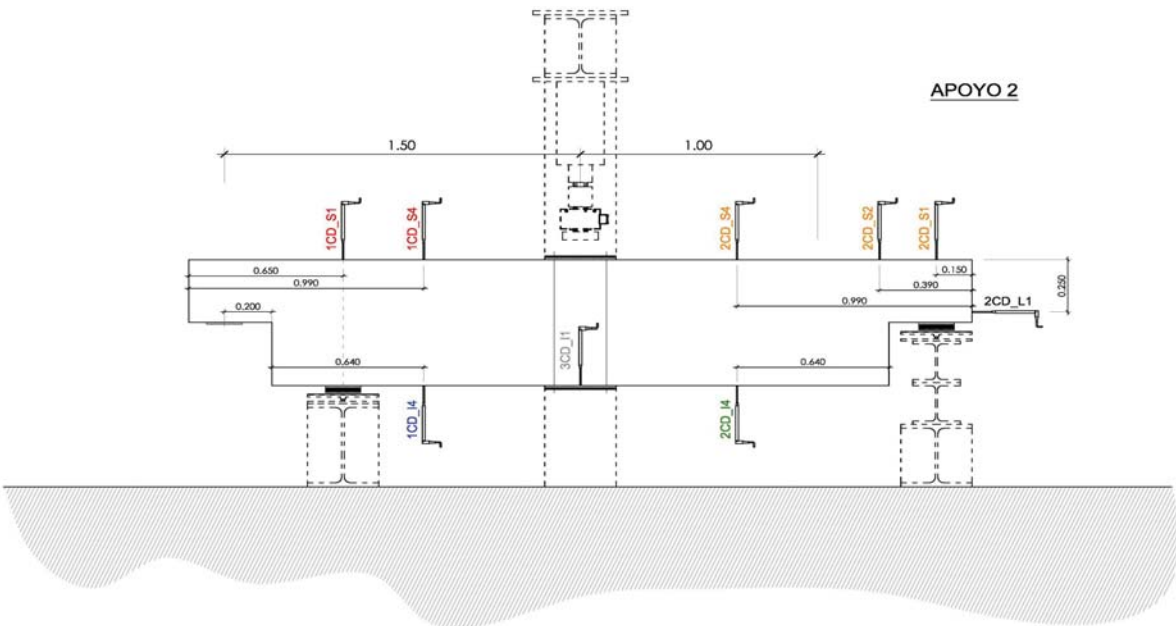
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



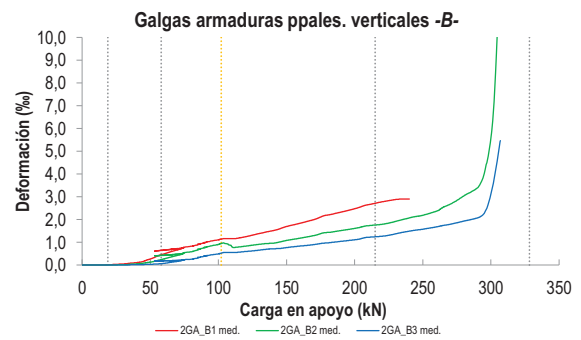
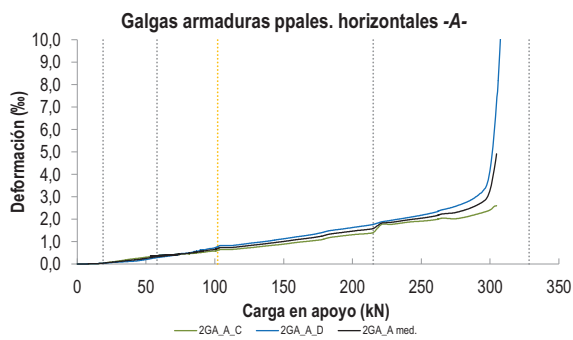
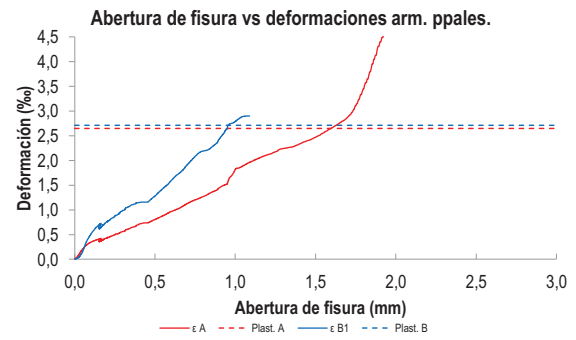
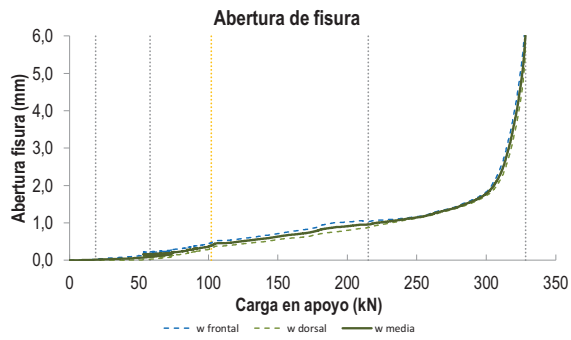
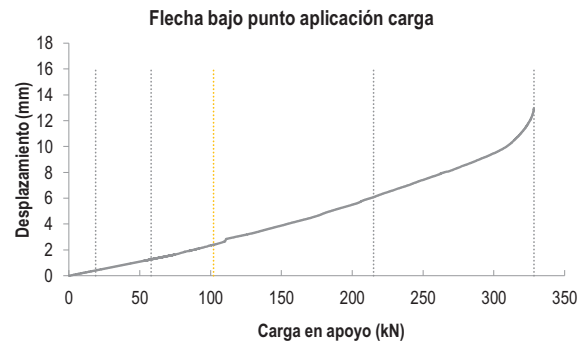
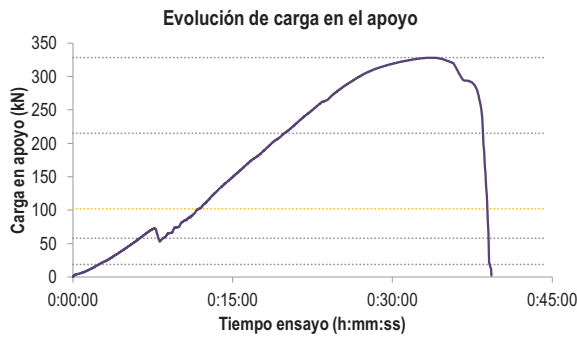
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 44.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.7 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

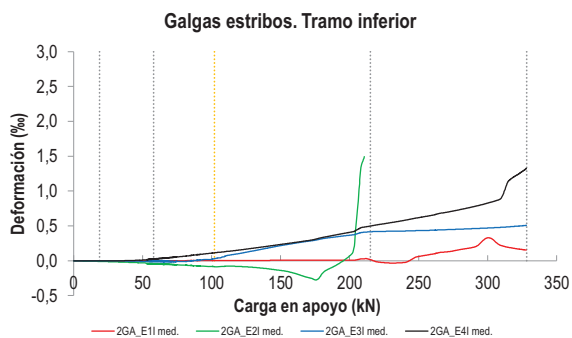
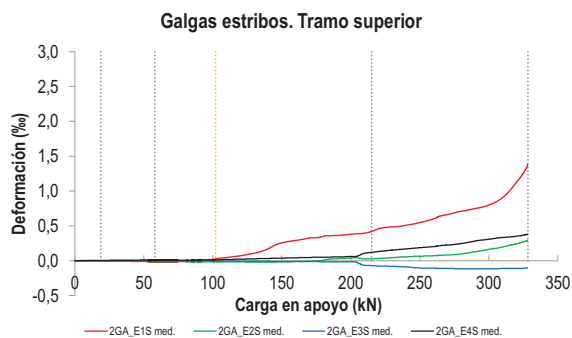
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

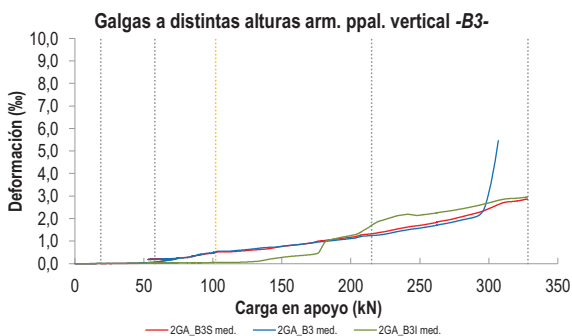
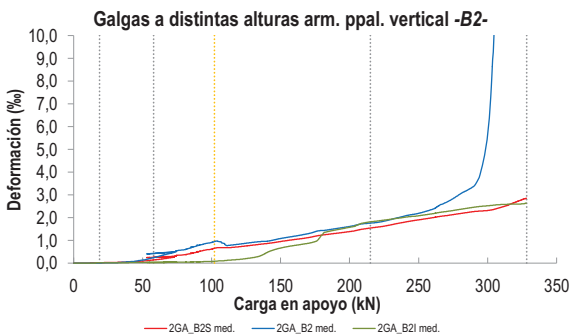
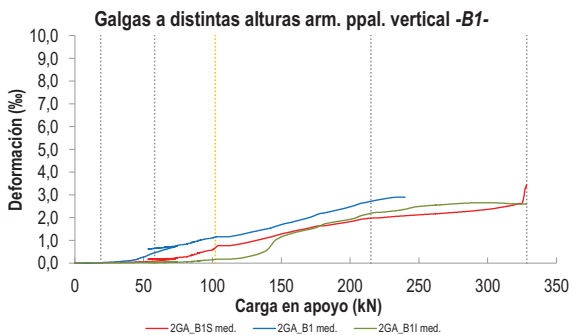
   		FICHA: 44.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.7 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

					FICHA: 44.5 ENSAYO: DEB-3.7 (T2)
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			AUTOR:	Jaime Mata Falcón
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/F40				

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
16,42	5%	0,00	0,36	0,02	0,01	0,00	0,00	-
32,83	10%	0,03	0,72	0,13	0,06	0,02	0,01	-
49,25	15%	0,06	1,08	0,24	0,26	0,13	0,03	-
65,67	20%	0,16	1,44	0,39	0,66	0,42	0,17	-
82,08	25%	0,24	1,86	0,49	0,85	0,62	0,28	-
98,50	30%	0,35	2,31	0,64	1,10	0,89	0,48	-
114,92	35%	0,47	2,94	0,75	1,19	0,80	0,57	-
131,33	40%	0,54	3,34	0,87	1,40	0,92	0,67	-
147,75	45%	0,62	3,82	0,99	1,65	1,05	0,75	-
164,17	50%	0,70	4,30	1,12	1,90	1,23	0,86	-
180,58	55%	0,81	4,84	1,28	2,20	1,43	0,98	-
197,00	60%	0,90	5,40	1,44	2,43	1,58	1,09	-
213,42	65%	0,96	6,03	1,58	2,70	1,75	1,24	-
229,83	70%	1,04	6,65	1,87	2,87	1,91	1,37	-
246,25	75%	1,12	7,27	2,01	-	2,14	1,54	-
262,67	80%	1,25	7,90	2,18	-	2,45	1,71	-
279,08	85%	1,42	8,54	2,36	-	2,99	1,92	-
295,50	90%	1,68	9,27	2,91	-	4,38	2,50	-
311,91	95%	2,61	10,34	-	-	15,13	5,26	-
328,33	100%	5,07	12,15	-	-	-	-	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	18,83	5,7%	0,00	0,41	0,04	0,01	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	58,00	17,7%	0,13	1,27	0,35	0,56	0,34	0,13	-
Abertura de fisura 0,20 mm	72,45	22,1%	0,20	1,58	0,42	0,72	0,47	0,20	-
Abertura de fisura 0,40 mm	102,07	31,1%	0,40	2,40	0,69	1,14	0,94	0,52	-
Abertura de fisura 0,60 mm	143,29	43,6%	0,60	3,69	0,95	1,56	0,99	0,73	-
Abertura de fisura 0,80 mm	179,79	54,8%	0,80	4,81	1,27	2,19	1,43	0,98	-
Primera plastificación	215,07	65,5%	0,96	6,10	1,62	2,72	1,76	1,24	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **44.6**

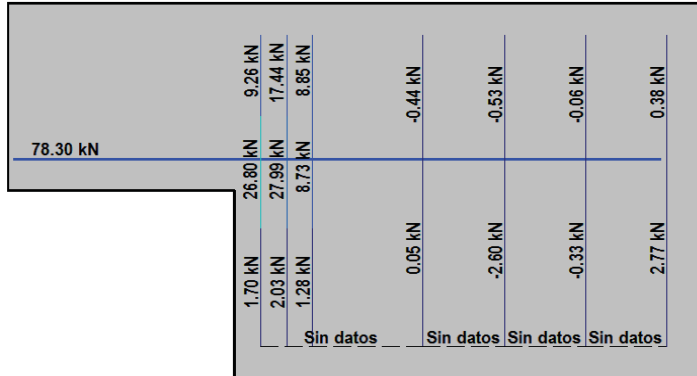
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40

ENSAYO: **DEB-3.7 (T2)**

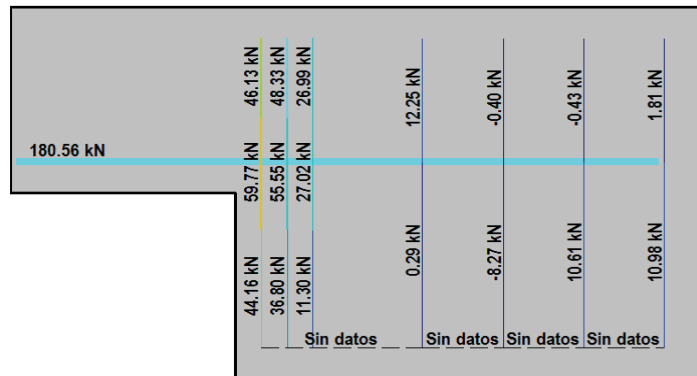
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

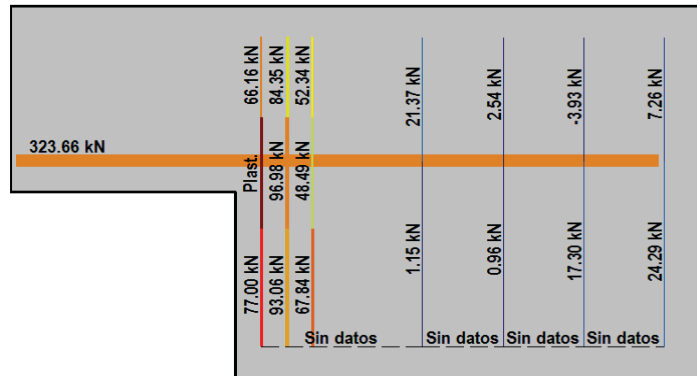
V (kN): 82,08
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,24



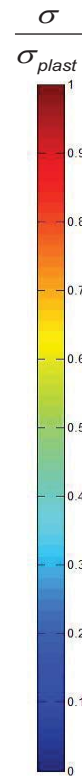
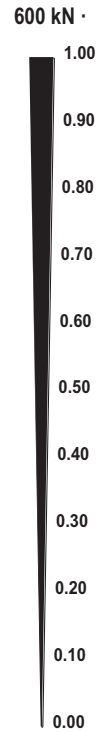
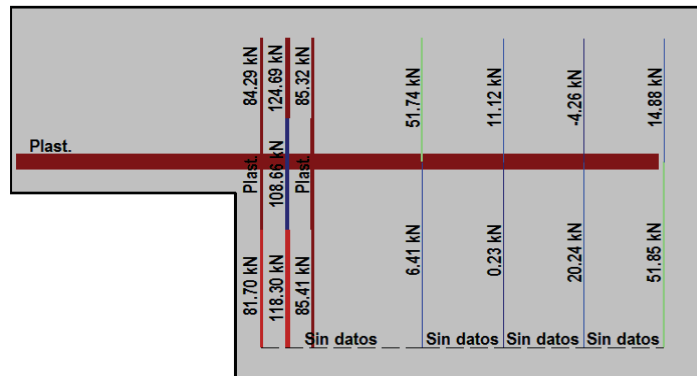
V (kN): 164,17
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,70







V (kN): 246,25
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,12





V (kN): 328,33
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 5,07





 		 		FICHA: 44.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.7 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F40	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL) FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)





VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se debe de interrumpir el ensayo cuando se llevaba 1/5 de la carga total, continuándose después, apreciándose un salto de la carga aplicada.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior tiene una inclinación de unos 45°. Al tratarse de un hormigón con fibras se observa la aparición de numerosas fisuras cercanas a la de la esquina.
 - Cerca de la rotura se forma una fisura que parte del borde del apoyo y busca la parte superior de los estribos que conforman el tirante principal vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical 1er plano - 2º vertical 2º plano - 3º horizontal - 4º vertical 3er plano
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo buscando la cabeza del tirante principal vertical. Al tratarse de un hormigón con fibras no se produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La pieza va perdiendo progresivamente su carga tras alcanzar el pico máximo, sin producirse un descenso brusco de la carga.

H.45 DEB-3.8 (T1)

				FICHA: 45.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.8 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/F70
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 04/06/2012
 Edad (días): 31

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

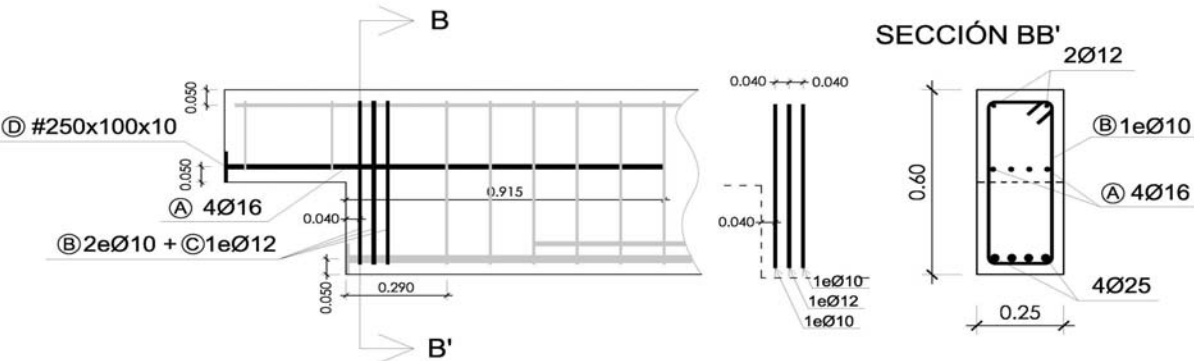
V última (kN): 363,34
 V (w=0,4 mm) (kN): 156,96 43%
 Modo de fallo: SY (V1-V3-V2-H)

Variante 1:	Fibras 70kg/m3	-	-
Variante 2:	-	-	-

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
48,8	-	0,88%	8,435481 4,949063

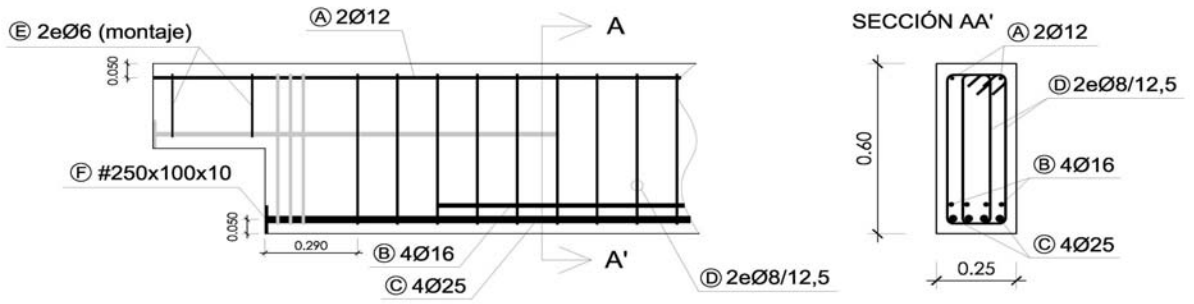
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

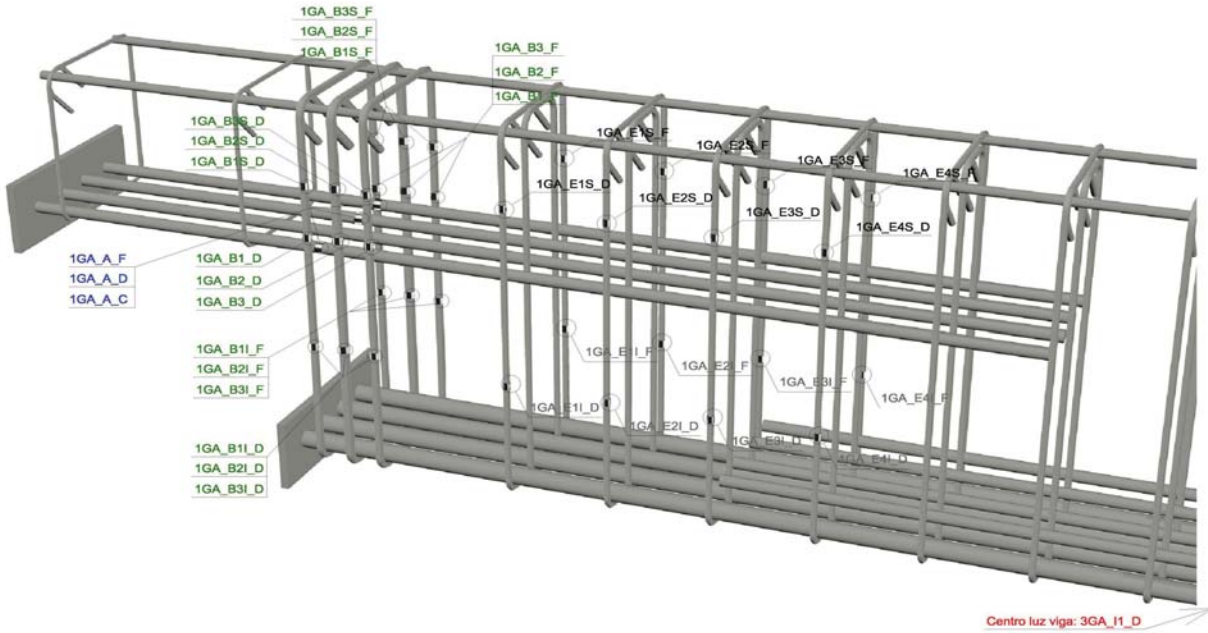
B2.- ARMADO DE LA VIGA



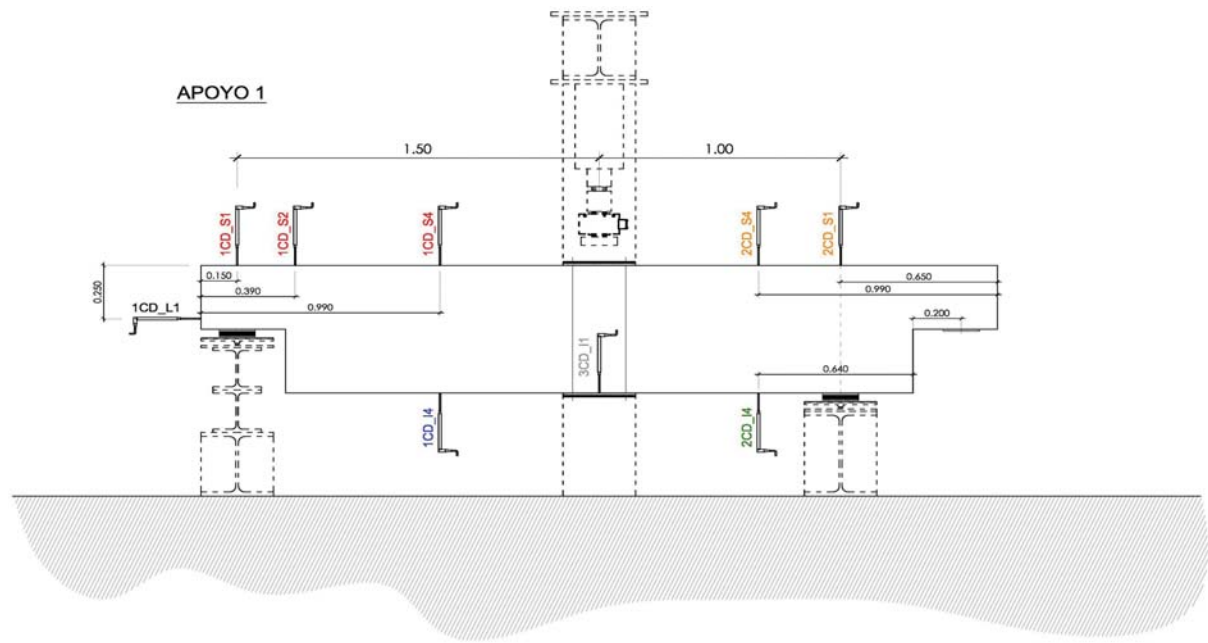
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



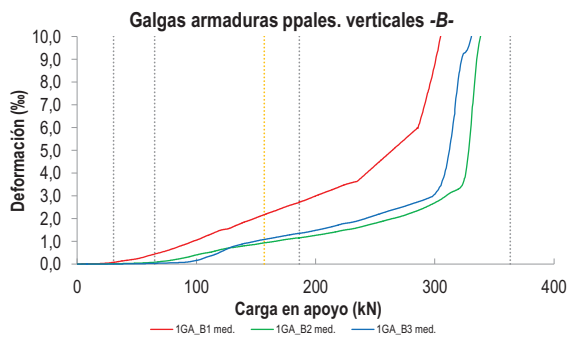
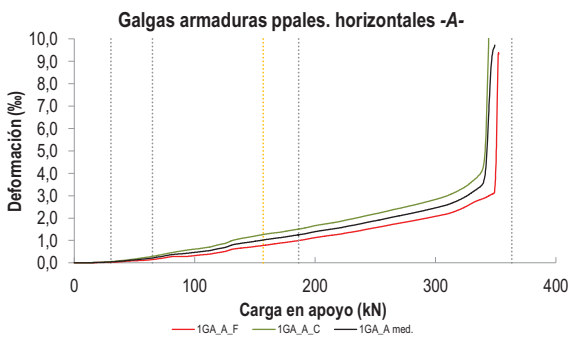
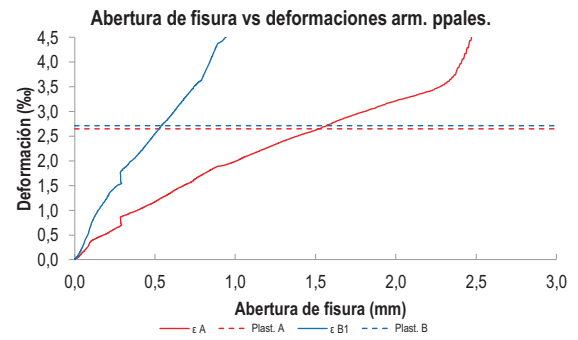
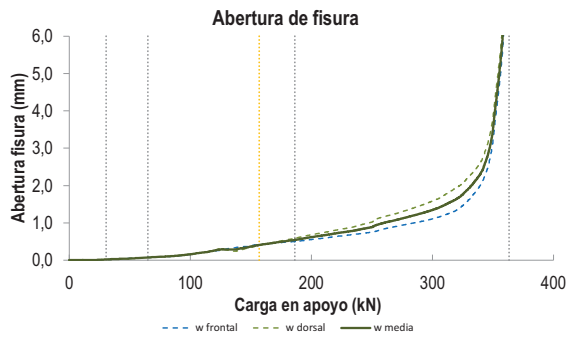
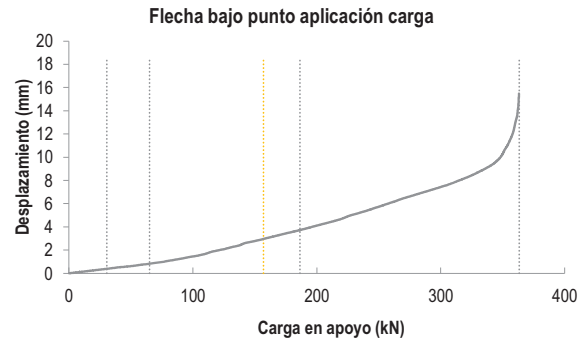
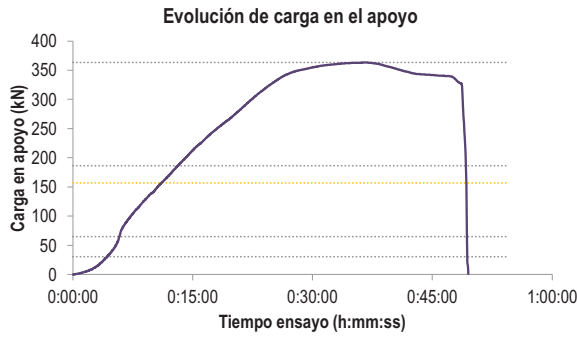
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 45.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.8 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

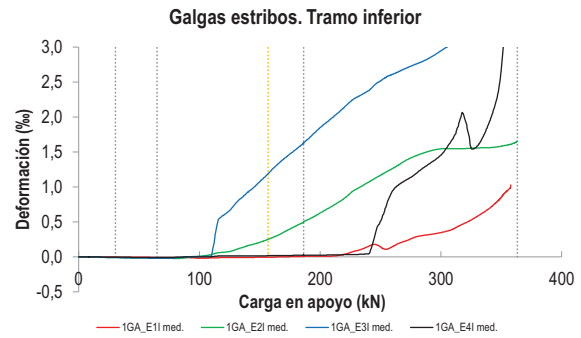
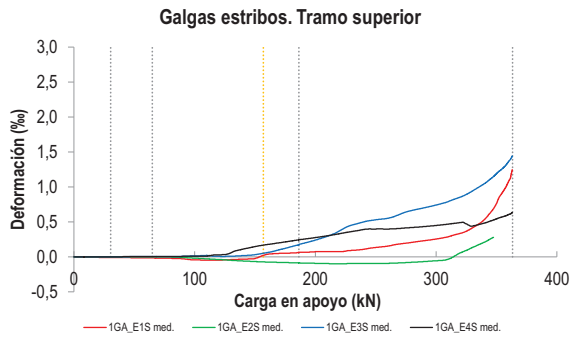
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



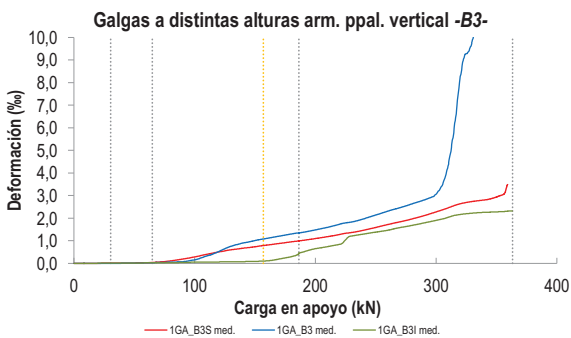
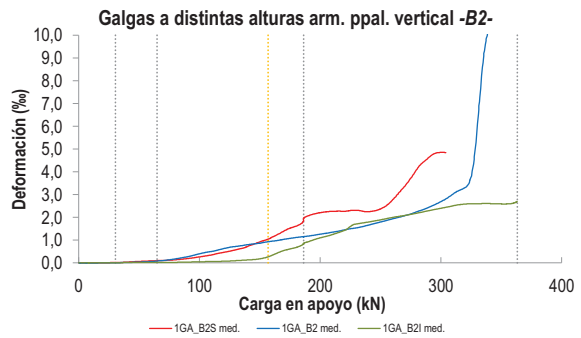
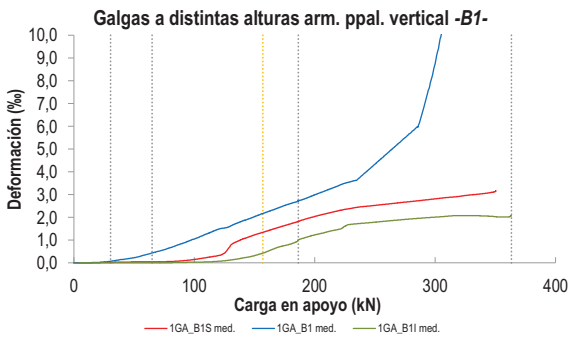
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 45.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.8 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/F70	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
18,17	5%	0,00	0,23	0,02	0,02	0,00	0,00	-
36,33	10%	0,03	0,46	0,07	0,12	0,02	0,00	-
54,50	15%	0,05	0,68	0,16	0,28	0,05	0,01	-
72,67	20%	0,09	0,94	0,29	0,55	0,12	0,04	-
90,83	25%	0,12	1,27	0,42	0,87	0,28	0,08	-
109,00	30%	0,20	1,65	0,53	1,25	0,50	0,31	-
127,17	35%	0,29	2,14	0,73	1,56	0,70	0,70	-
145,34	40%	0,33	2,68	0,93	1,94	0,84	0,96	-
163,50	45%	0,44	3,13	1,07	2,29	0,98	1,14	-
181,67	50%	0,52	3,60	1,22	2,63	1,13	1,31	-
199,84	55%	0,62	4,10	1,39	2,98	1,26	1,48	-
218,00	60%	0,71	4,63	1,54	3,36	1,43	1,70	-
236,17	65%	0,80	5,26	1,73	3,71	1,61	1,91	-
254,34	70%	0,94	5,89	1,93	4,54	1,86	2,21	-
272,50	75%	1,10	6,54	2,13	5,38	2,11	2,50	-
290,67	80%	1,25	7,13	2,34	6,88	2,46	2,82	-
308,84	85%	1,46	7,76	2,59	11,15	2,98	4,31	-
327,01	90%	1,84	8,55	3,04	16,57	4,89	9,54	-
345,17	95%	3,06	9,89	6,82	15,67	10,06	13,03	-
363,34	100%	8,13	13,44	-	14,42	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	30,52	8,4%	0,02	0,39	0,04	0,07	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	65,00	17,9%	0,07	0,83	0,22	0,44	0,08	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	109,90	30,2%	0,20	1,68	0,53	1,27	0,50	0,33	-
Abertura de fisura 0,40 mm	156,96	43,2%	0,40	2,96	1,02	2,18	0,93	1,08	-
Abertura de fisura 0,60 mm	197,36	54,3%	0,60	4,03	1,37	2,93	1,24	1,45	-
Abertura de fisura 0,80 mm	234,83	64,6%	0,80	5,22	1,71	3,67	1,59	1,89	-
Primera plastificación	186,38	51,3%	0,54	3,72	1,25	2,72	1,15	1,35	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **45.6**

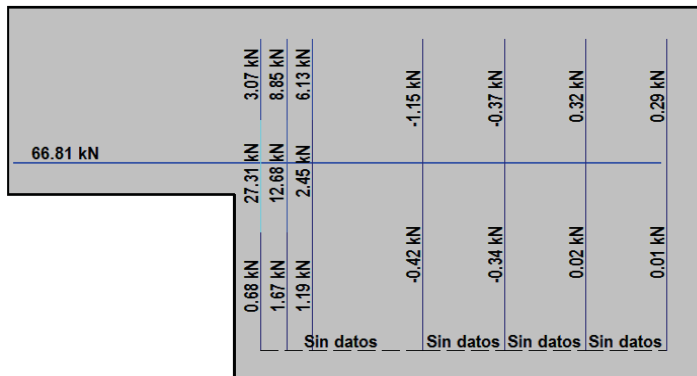
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70

ENSAYO: **DEB-3.8 (T1)**

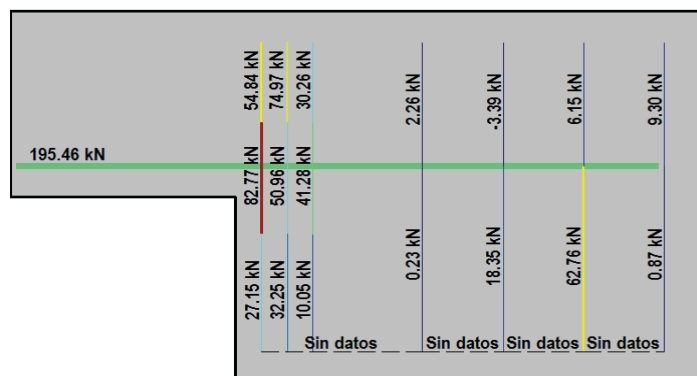
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

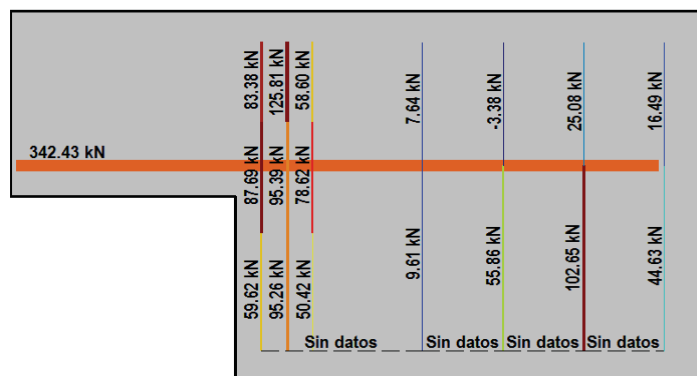
V (kN): 90,83
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,12



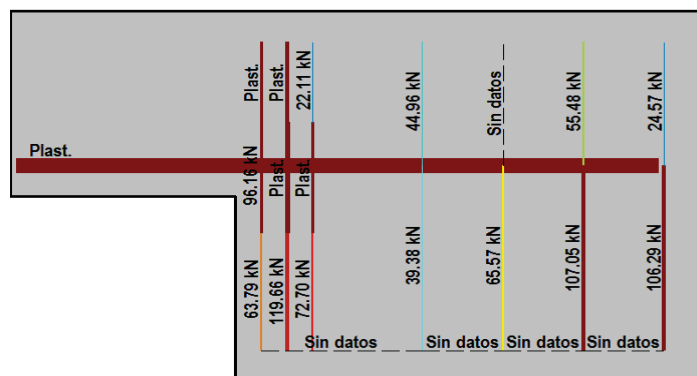
V (kN): 181,67
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,52



V (kN): 272,50
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,10



V (kN): 363,34
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 8,13

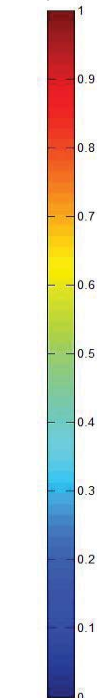






700 kN ·



σ


σ_{plast}




 		 		FICHA: 45.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.8 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


DETALLE DE LA FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)



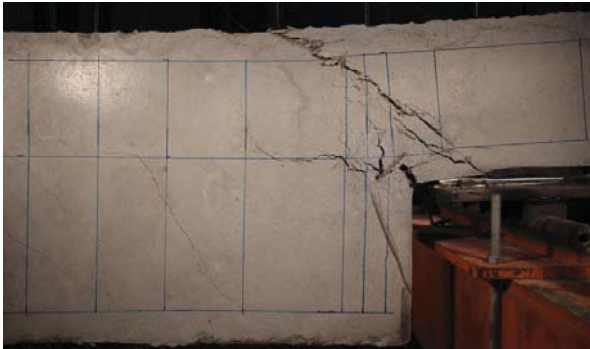
DETALLE DE LA FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45°, para al encontrarse con las armaduras dividirse en varias fisuras. En el caso de la cara frontal a la altura de la banda extensométrica se produce un quiebro de la fisura que se divide en un abanico de fisuras con inclinaciones desde los 30° a los 60° e incluso más.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura que enlaza el borde del apoyo con la cabeza de los estribos que componen el tirante principal vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ 1er estribo vertical - 2º/ plastifican de manera casi simultánea los restantes planos del tirante vertical y el tirante horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce de forma muy dúctil por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo y que busca de manera recta la cabeza de los estribos del tirante vertical.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La carga disminuye suavemente tras alcanzar el máximo y se estabiliza con una caída de tan sólo el 5% de la carga máxima.

H.46 DEB-3.8 (T2)

				FICHA: 46.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.8 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/F70
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 04/06/2012
 Edad (días): 31

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1:	Fibras 70kg/m3	-
Variante 2:	-	-

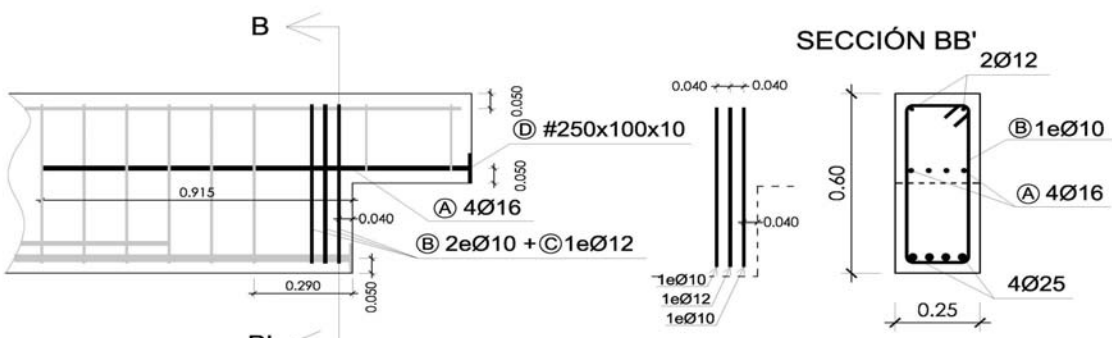
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 361,58
 V (w=0,4 mm) (kN): 104,94 29%
 Modo de fallo: SY (V1-V2-H-V3)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
48,8	-	0,88%	8,44 4,95

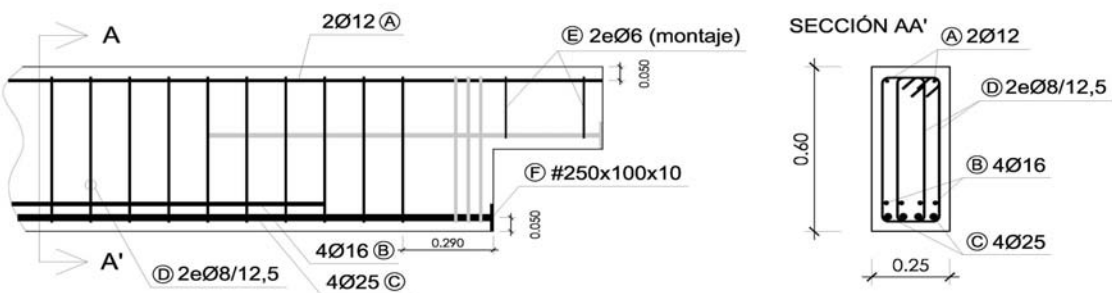
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

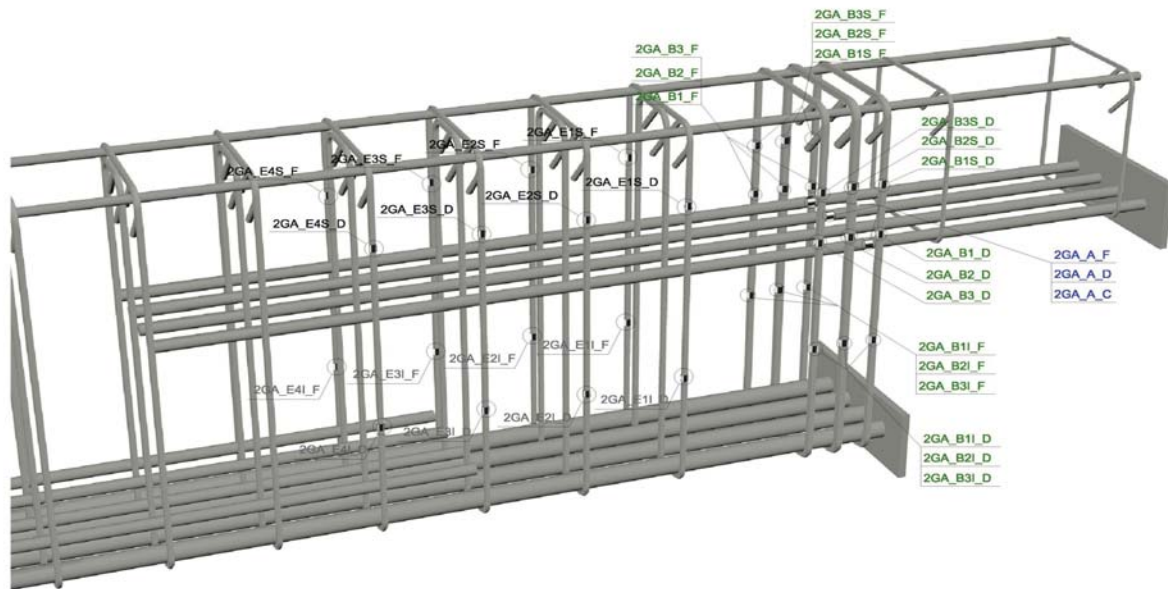
B2.- ARMADO DE LA VIGA



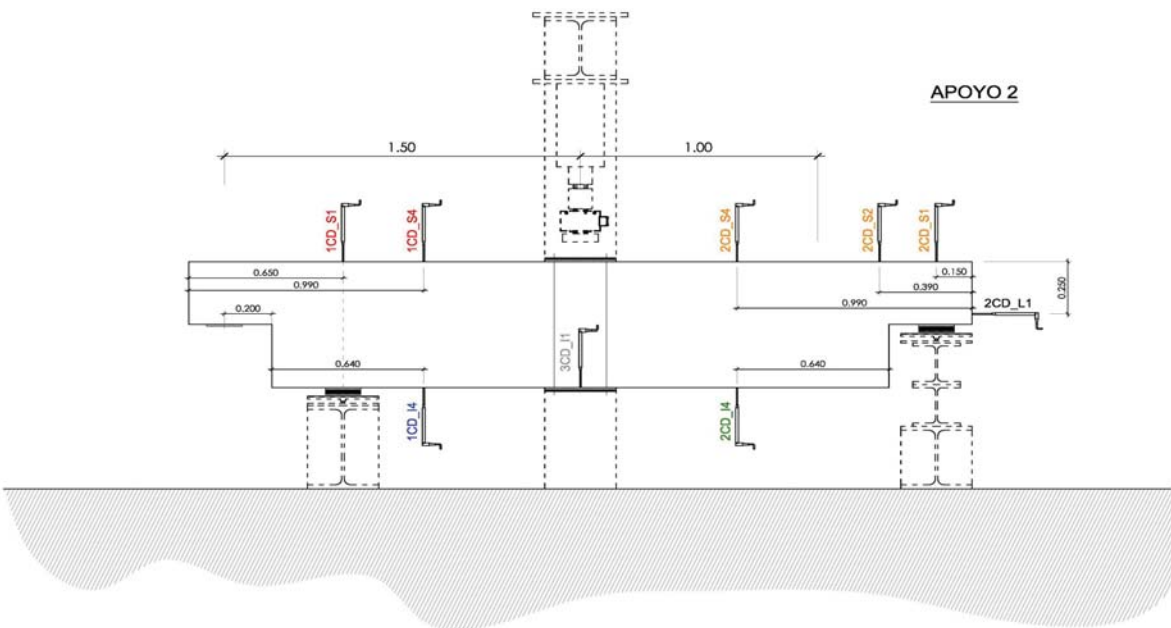
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



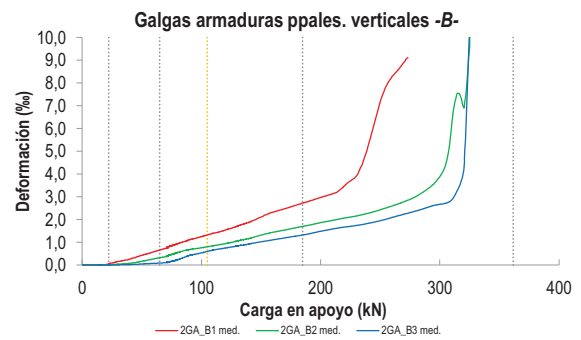
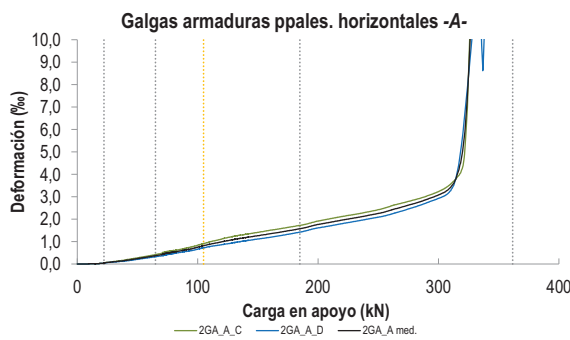
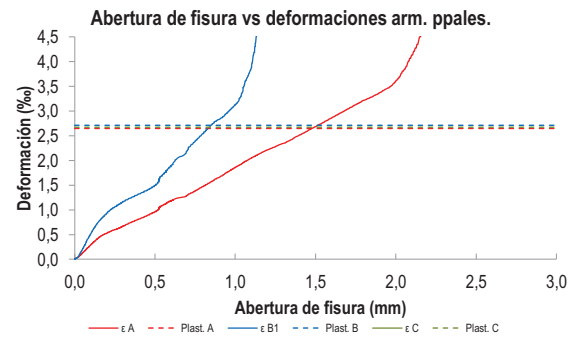
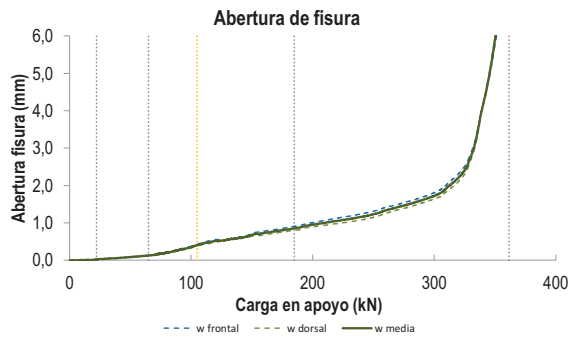
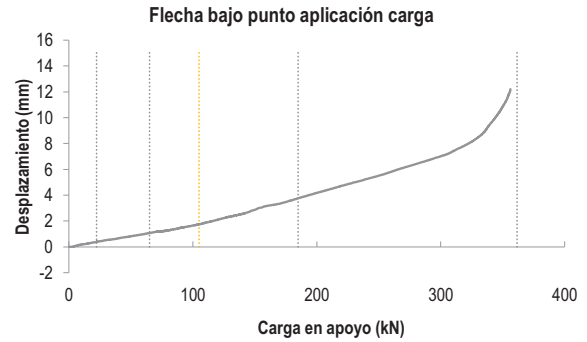
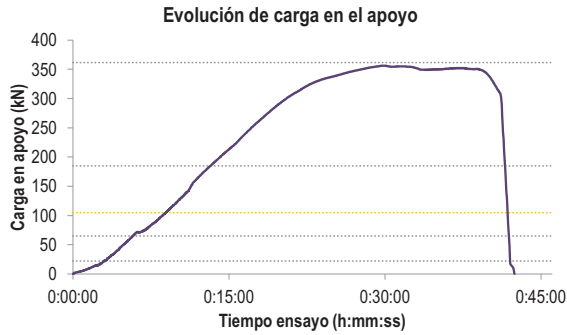
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 46.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.8 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

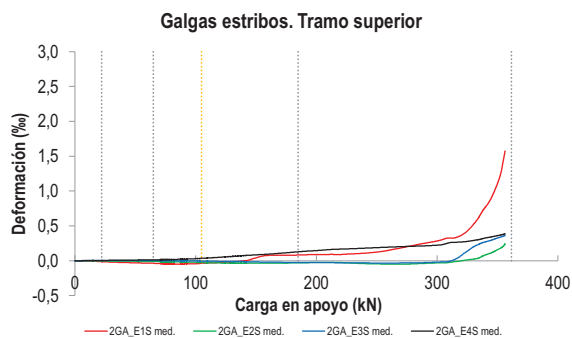
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



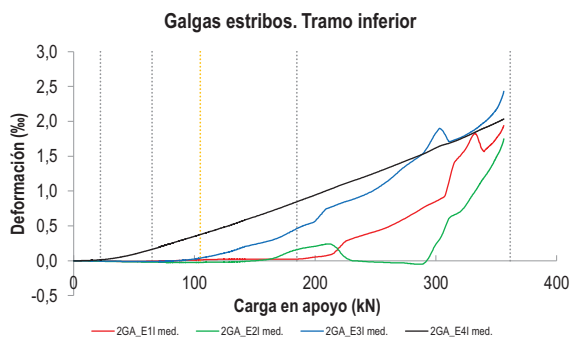
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

   		FICHA: 46.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.8 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

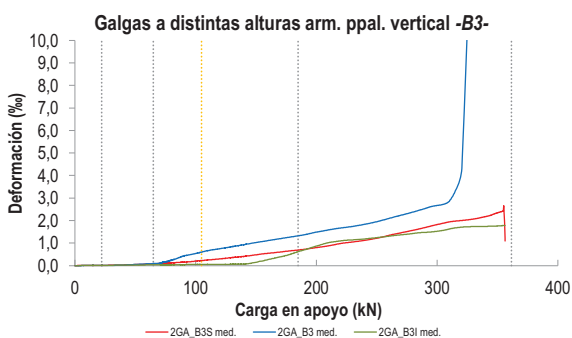
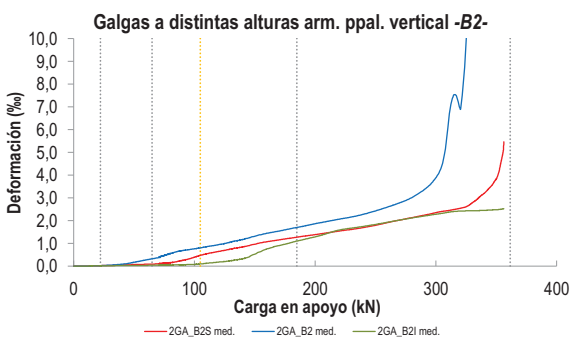
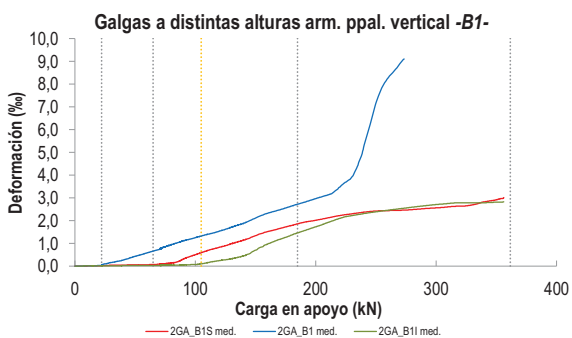
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 46.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.8 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/F70	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

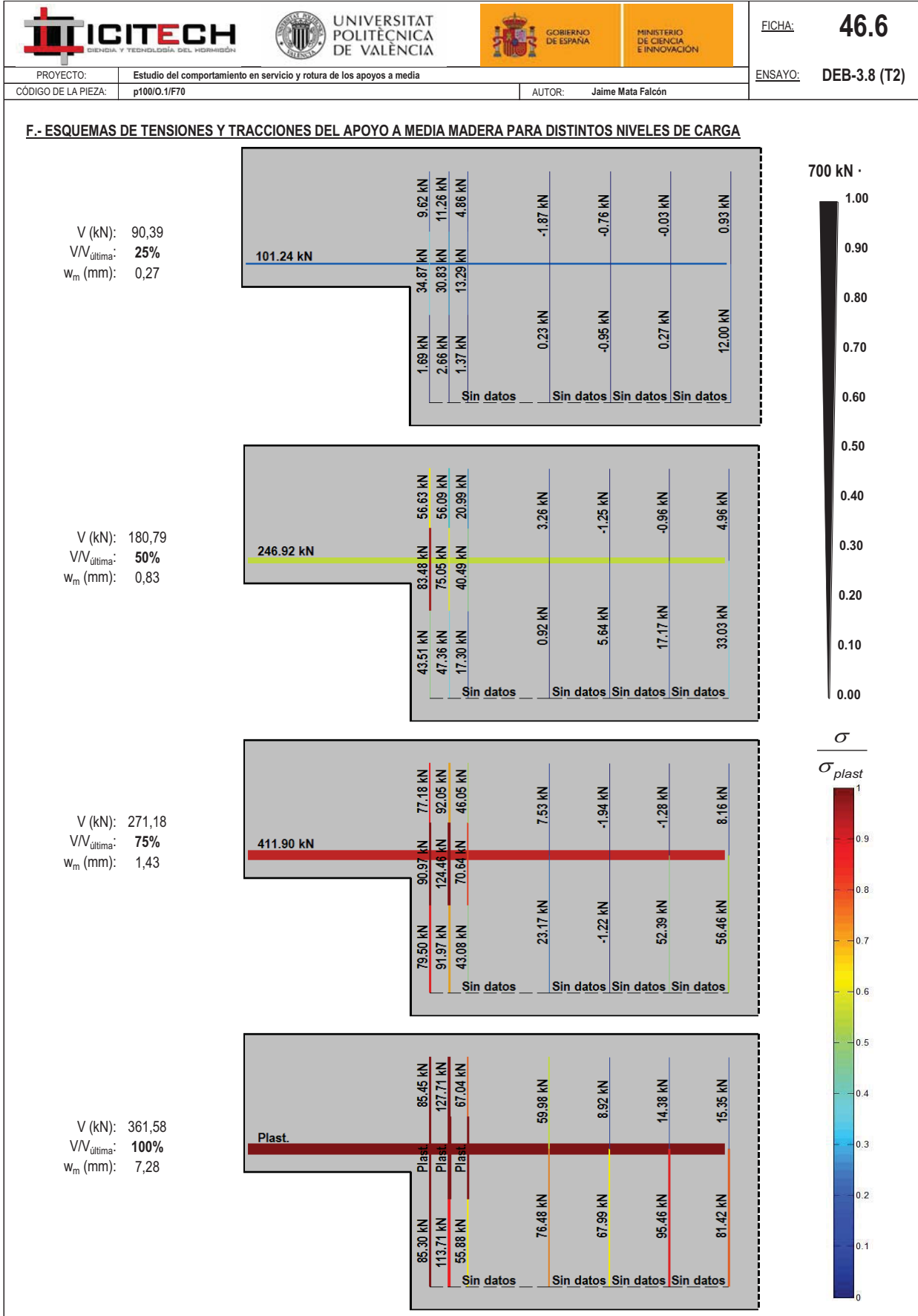
Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
18,08	5%	0,00	0,32	0,02	0,02	0,01	0,00	-
36,16	10%	0,05	0,60	0,13	0,22	0,06	0,02	-
54,24	15%	0,10	0,89	0,28	0,49	0,21	0,06	-
72,32	20%	0,16	1,18	0,45	0,79	0,41	0,13	-
90,39	25%	0,27	1,47	0,63	1,11	0,68	0,42	-
108,47	30%	0,44	1,83	0,86	1,37	0,84	0,65	-
126,55	35%	0,53	2,27	1,06	1,65	1,01	0,81	-
144,63	40%	0,62	2,67	1,21	1,97	1,23	0,97	-
162,71	45%	0,74	3,22	1,37	2,36	1,47	1,13	-
180,79	50%	0,83	3,65	1,54	2,66	1,66	1,29	-
198,87	55%	0,94	4,15	1,75	2,95	1,85	1,47	-
216,95	60%	1,04	4,64	1,93	3,34	2,04	1,65	-
235,03	65%	1,13	5,12	2,10	4,50	2,22	1,79	-
253,11	70%	1,26	5,61	2,30	7,60	2,48	1,99	-
271,18	75%	1,43	6,16	2,56	8,88	2,80	2,25	-
289,26	80%	1,60	6,69	2,86	-	3,33	2,53	-
307,34	85%	1,87	7,30	3,33	-	5,38	2,81	-
325,42	90%	2,51	8,22	9,61	-	8,77	8,26	-
343,50	95%	4,75	9,99	-	-	-	-	-
361,58	100%	7,28	11,92	-	-	-	-	-




 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	22,25	6,2%	0,02	0,39	0,04	0,05	0,02	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	65,00	18,0%	0,13	1,07	0,37	0,66	0,32	0,09	-
Abertura de fisura 0,20 mm	79,48	22,0%	0,20	1,27	0,53	0,93	0,54	0,23	-
Abertura de fisura 0,40 mm	104,94	29,0%	0,40	1,75	0,81	1,32	0,80	0,60	-
Abertura de fisura 0,60 mm	137,29	38,0%	0,60	2,50	1,16	1,83	1,14	0,90	-
Abertura de fisura 0,80 mm	174,35	48,2%	0,80	3,46	1,47	2,54	1,59	1,23	-
Primera plastificación	184,90	51,1%	0,85	3,75	1,57	2,71	1,69	1,32	-


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



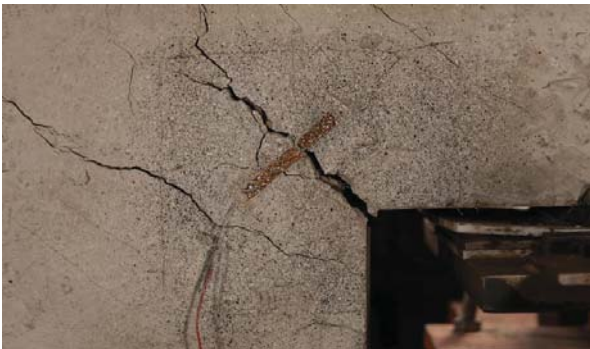
 				FICHA: 46.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.8 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F70	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

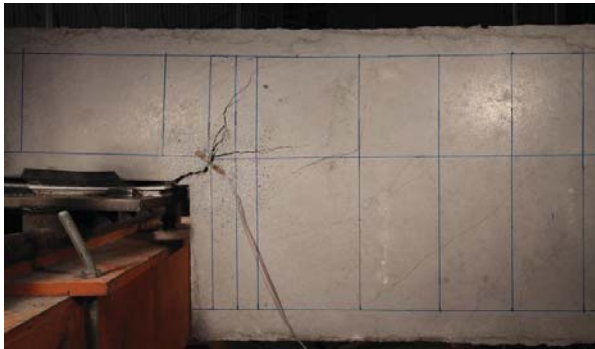
DETALLE DE LA FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




DETALLE DE LA FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - En la fisura parte de unos centímetros al borde de la esquina en la cara frontal y justo en la esquina en la dorsal. La inclinación global es de unos 45°, dividiéndose la fisura de la cara frontal al alcanzar las armaduras principales.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura que parte del borde del apoyo y llega a la cabeza de los 3 estribos que forman el tirante vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ vertical 1er plano - 2º/ horizontal y 2º plano vertical - 3º/ 3er plano de la armadura vertical
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina que se junta con la fisura que parte del apoyo. No se aprecia desprendimiento del recubrimiento por la existencia de fibras.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se alcanza la carga máxima de la pieza de una forma muy dúctil, produciéndose una estabilización de la carga al bajar un 2,5% respecto a la carga máxima. Tras estar estabilizada la carga un buen rato se procede a descargar la pieza.

H.47 DEB-3.9 (T1)

				FICHA: 47.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.9 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F100		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/F100
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 05/06/2012
 Edad (días): 32

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 354,49
 V (w=0,4 mm) (kN): 147,05 41%
 Modo de fallo: SY (V1-H-V2-V3)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
48,4	-	1,25%	9,26	7,38

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

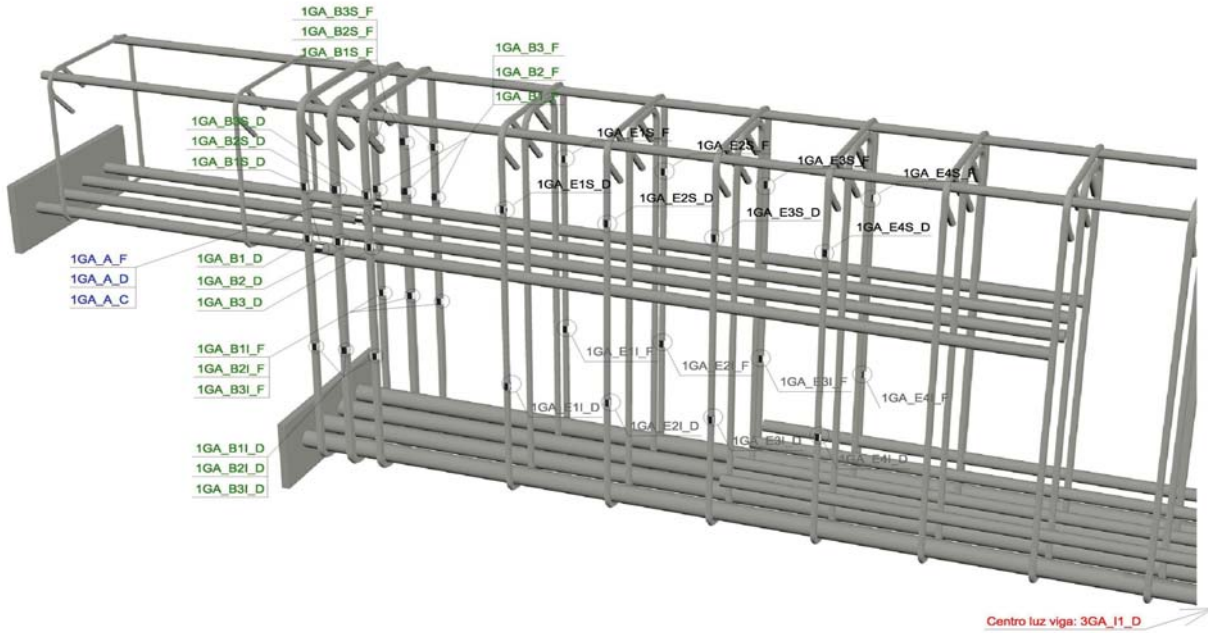
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

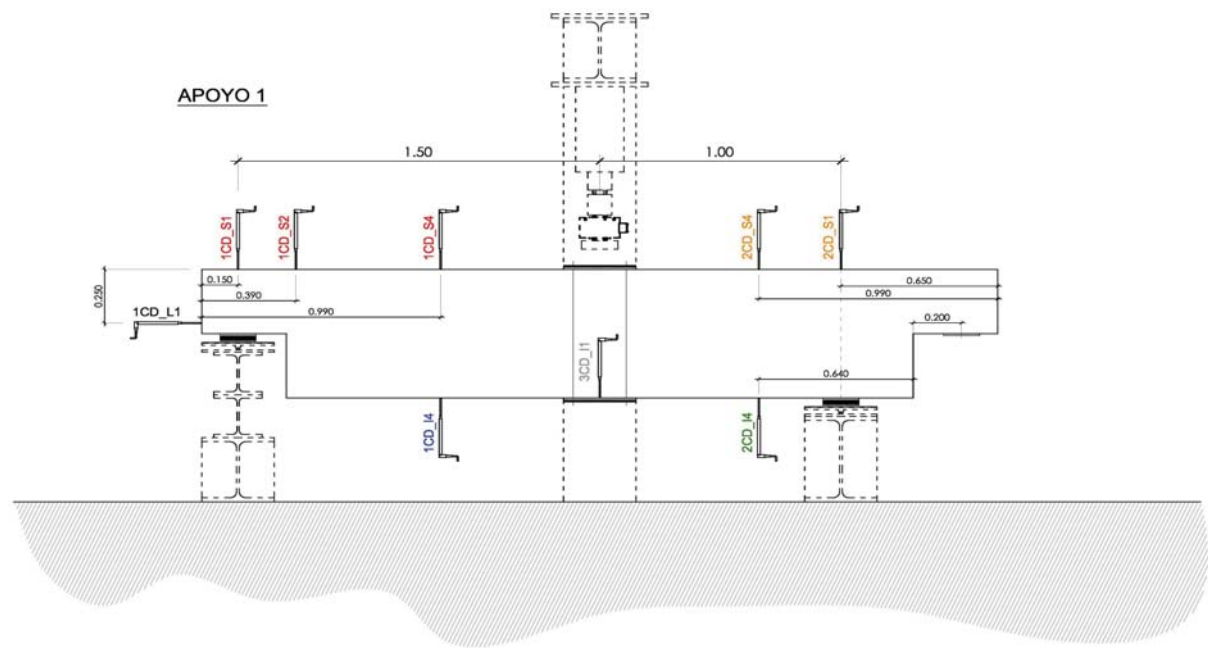
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



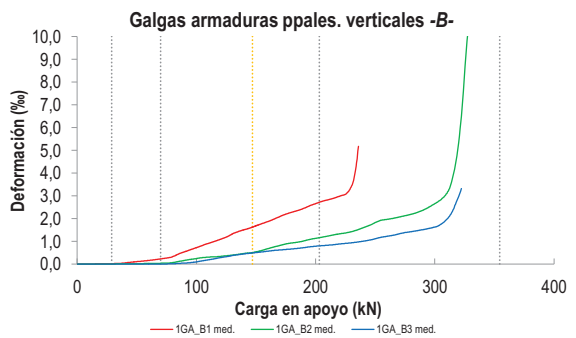
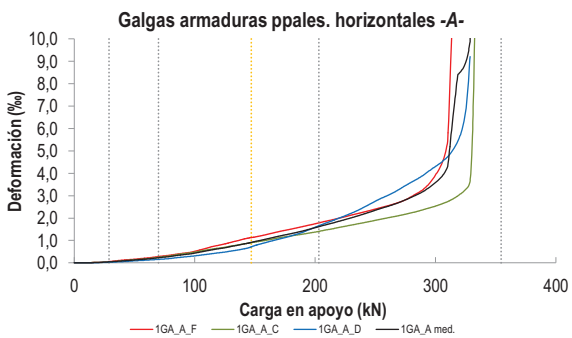
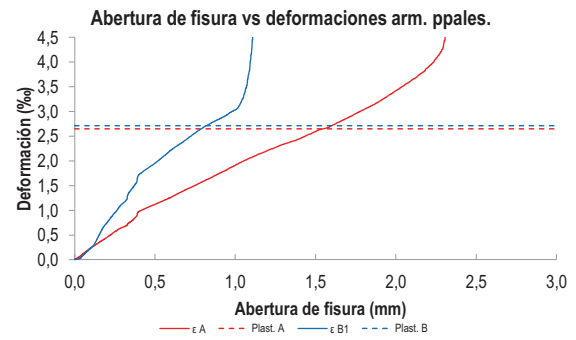
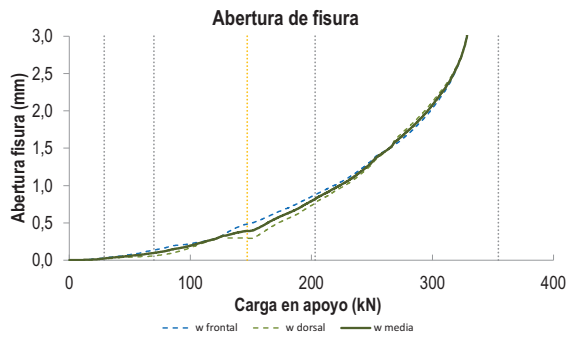
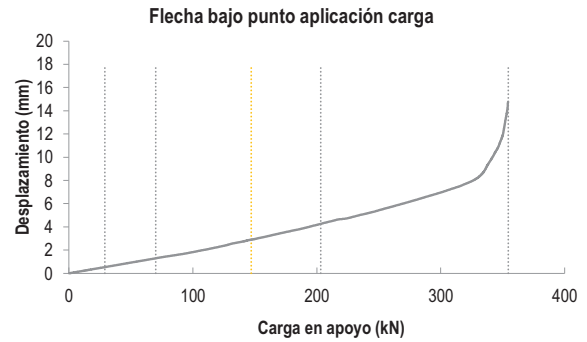
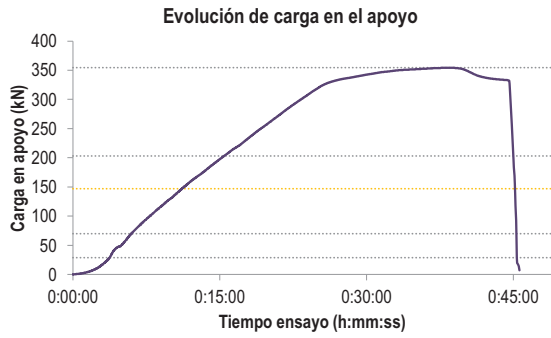
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 47.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.9 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F100	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

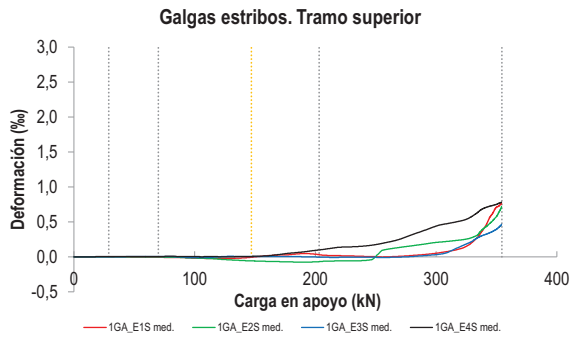
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

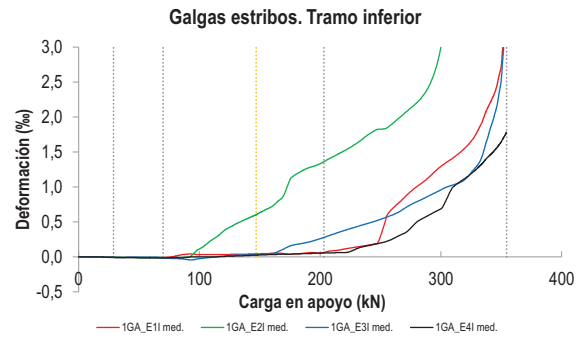


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

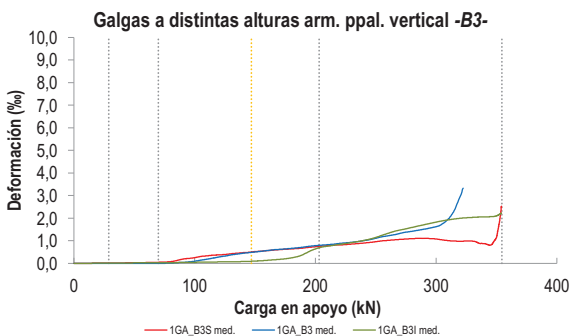
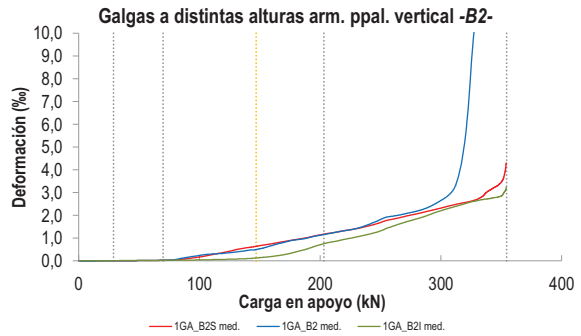
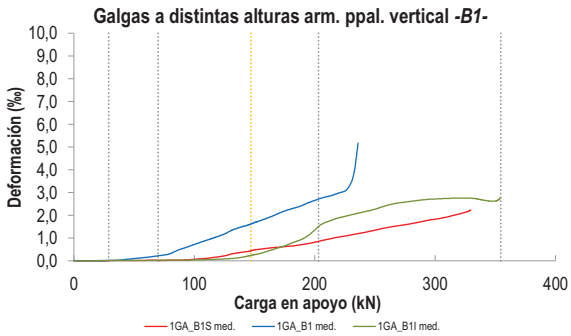
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 47.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.9 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/F100	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
17,72	5%	0,00	0,33	0,02	0,01	0,00	0,00	-
35,45	10%	0,03	0,65	0,07	0,03	0,01	-0,01	-
53,17	15%	0,06	0,98	0,14	0,12	0,02	-0,01	-
70,90	20%	0,10	1,31	0,24	0,23	0,03	0,00	-
88,62	25%	0,15	1,61	0,35	0,51	0,14	0,04	-
106,35	30%	0,22	1,96	0,50	0,84	0,29	0,15	-
124,07	35%	0,31	2,35	0,67	1,16	0,36	0,32	-
141,80	40%	0,38	2,79	0,86	1,54	0,48	0,46	-
159,52	45%	0,46	3,18	1,06	1,86	0,67	0,56	-
177,24	50%	0,60	3,60	1,27	2,23	0,90	0,65	-
194,97	55%	0,75	4,03	1,50	2,55	1,08	0,75	-
212,69	60%	0,91	4,52	1,76	2,86	1,26	0,84	-
230,42	65%	1,07	4,90	2,02	3,59	1,43	0,94	-
248,14	70%	1,29	5,37	2,32	-	1,77	1,09	-
265,87	75%	1,53	5,90	2,63	-	2,02	1,28	-
283,59	80%	1,79	6,44	3,02	-	2,25	1,45	-
301,32	85%	2,11	7,01	3,66	-	2,70	1,66	-
319,04	90%	2,57	7,68	7,98	-	5,45	2,70	-
336,77	95%	4,99	9,26	13,30	-	-	-	-
354,49	100%	12,19	12,93	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

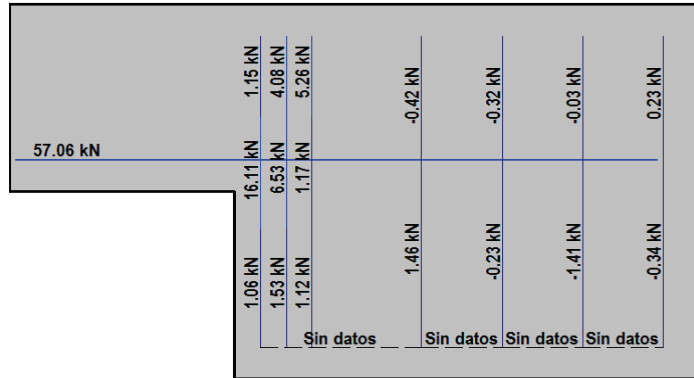
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	28,94	8,2%	0,02	0,53	0,05	0,02	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	70,00	19,7%	0,10	1,30	0,23	0,23	0,03	0,00	-
Abertura de fisura 0,20 mm	101,36	28,6%	0,20	1,85	0,45	0,74	0,25	0,11	-
Abertura de fisura 0,40 mm	147,05	41,5%	0,40	2,90	0,92	1,62	0,50	0,49	-
Abertura de fisura 0,60 mm	176,55	49,8%	0,60	3,58	1,27	2,22	0,90	0,65	-
Abertura de fisura 0,80 mm	201,04	56,7%	0,80	4,21	1,59	2,68	1,14	0,79	-
Primera plastificación	203,16	57,3%	0,82	4,26	1,62	2,72	1,16	0,80	-

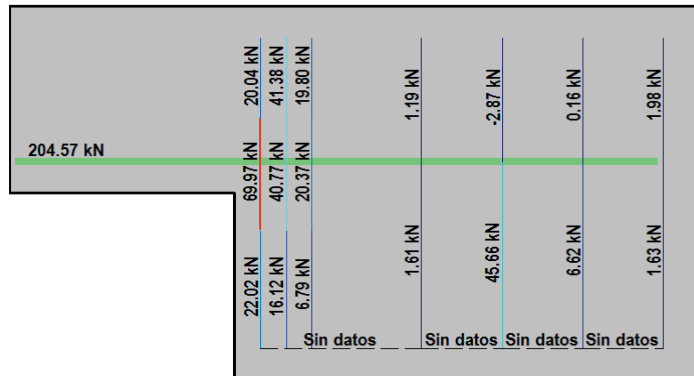
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

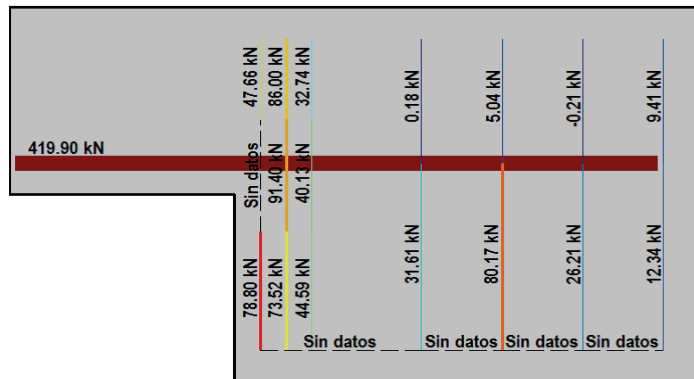
V (kN): 88,62
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,15



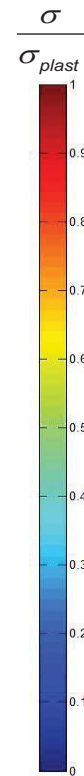
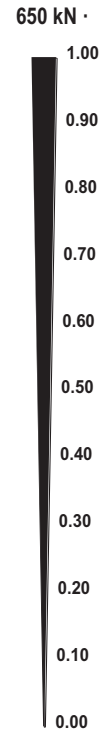
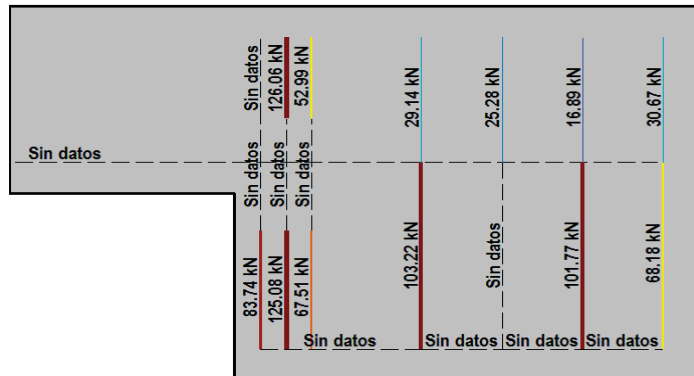
V (kN): 177,24
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,60







V (kN): 265,87
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,53




V (kN): 354,49
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 12,19




 		 		FICHA: 47.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.9 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F100	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (LADO FRONTAL)




FISURACIÓN A LA CARGA MÁXIMA (LADO DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Inicialmente se abre una fisura justo en la esquina, pero posteriormente es una fisura ligeramente desplazada al apoyo la que se abre claramente con mayor magnitud.
 - La fisura que se acaba abriendo más tanto en servicio como en rotura parte con una inclinación ligeramente superior a 45°. Al encontrarse con las armaduras principales la fisura se va dividiendo.
 - Cerca de la rotura la fisura progresa siguiendo las armaduras principales, hasta alcanzar la parte superior del tirante principal vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ vertical 1ª rama - 2º/ horizontal - 3º/ vertical 2ª rama - 4º/ vertical 3ª rama
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: Se produce un agotamiento de la pieza muy dúctil, propiciado por el alto contenido en fibras. Por este motivo simplemente se aprecia una caída muy ligera de la carga soportada por la pieza hasta que decide finalizarse el ensayo.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La carga pierde más o menos rápidamente un 5% de su carga tras alcanzar su resistencia máxima.

H.48 DEB-3.9 (T2)

				FICHA: 48.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.9 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F100		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/F100
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 05/06/2012
 Edad (días): 32

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Variante 1:	Variante 2:	-
Fibras 100kg/m3	-	-
-	-	-

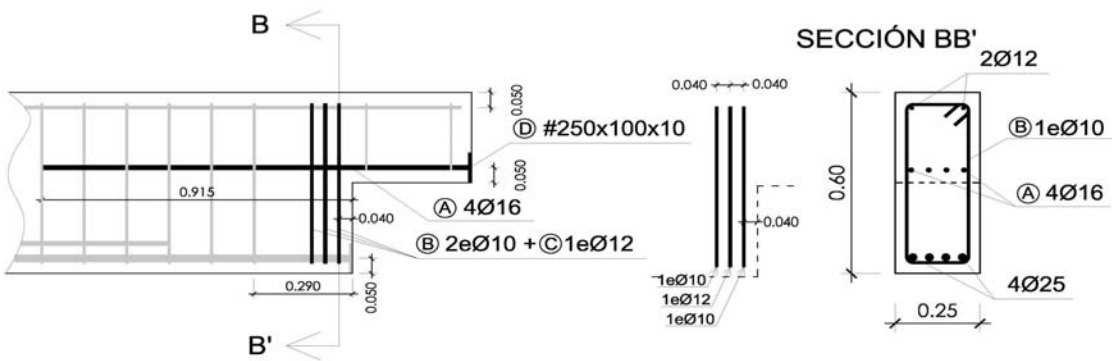
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 369,99
 V (w=0,4 mm) (kN): 141,98 38%
 Modo de fallo: SY (V1-H-V2)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
48,4	-	1,25%	9,263176 7,379587

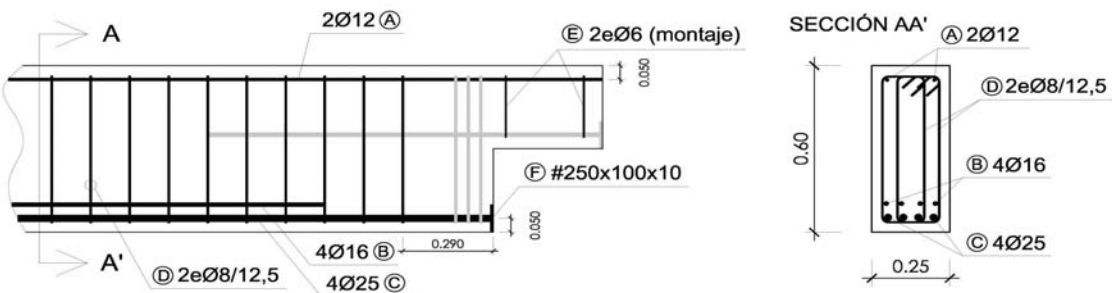
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

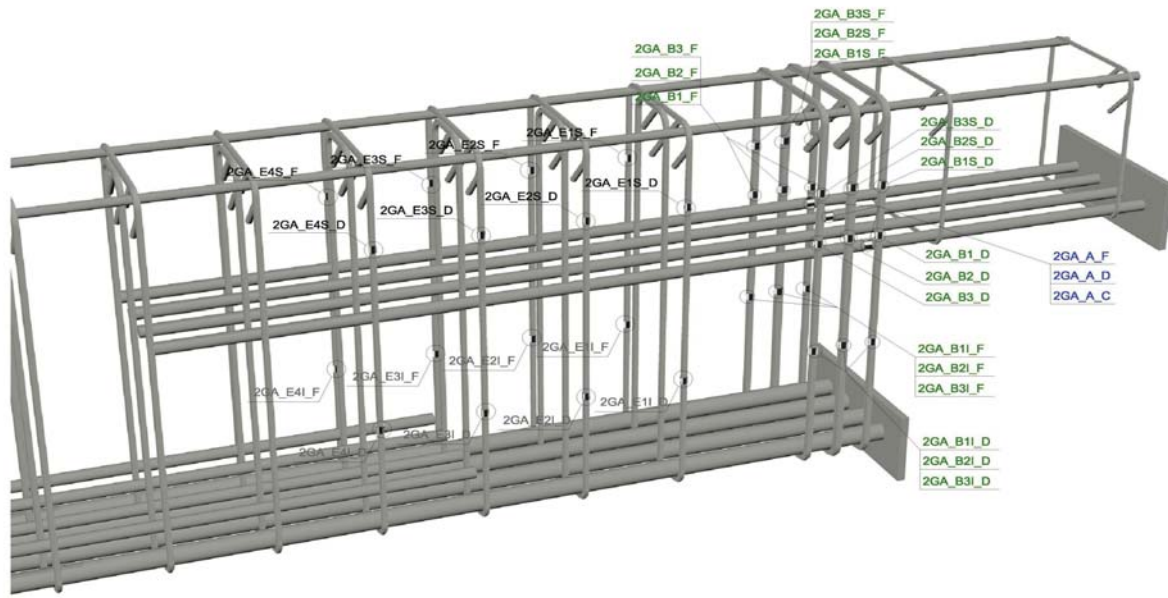
B2.- ARMADO DE LA VIGA



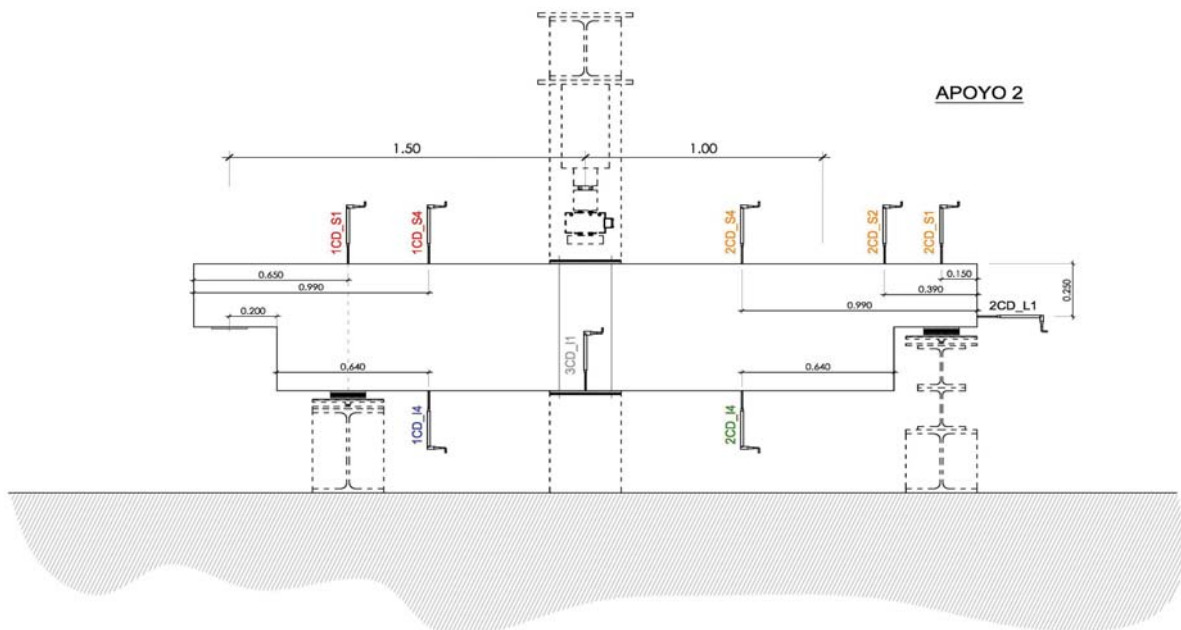
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



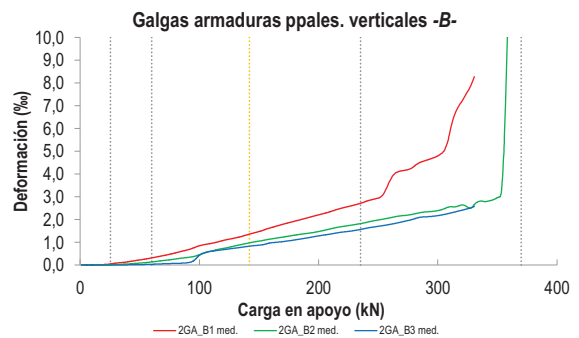
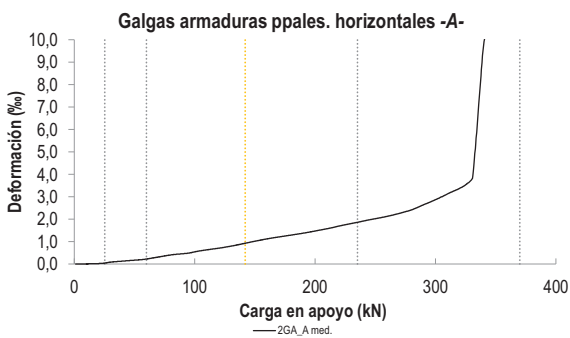
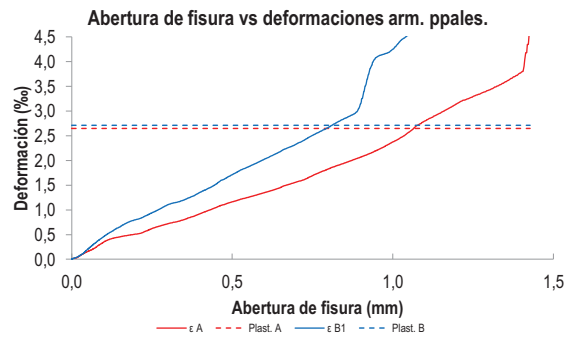
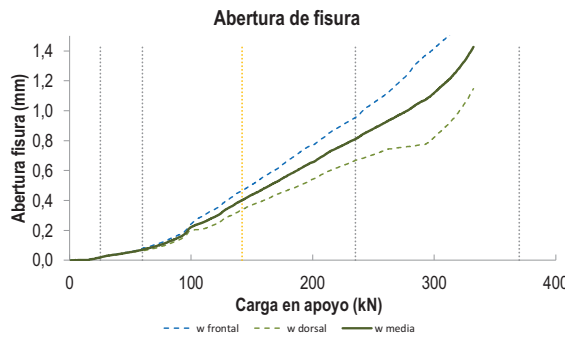
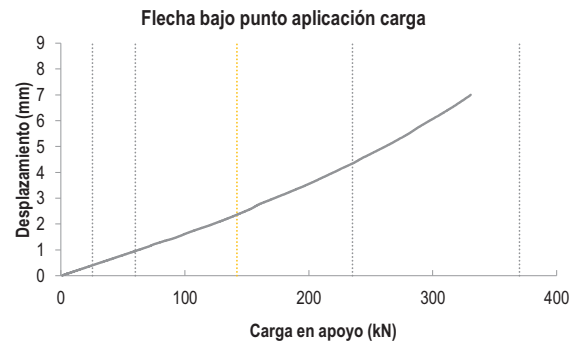
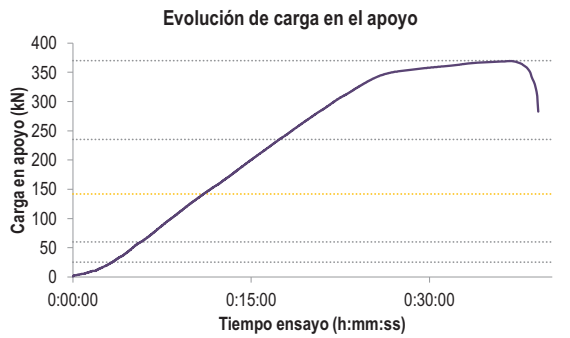
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



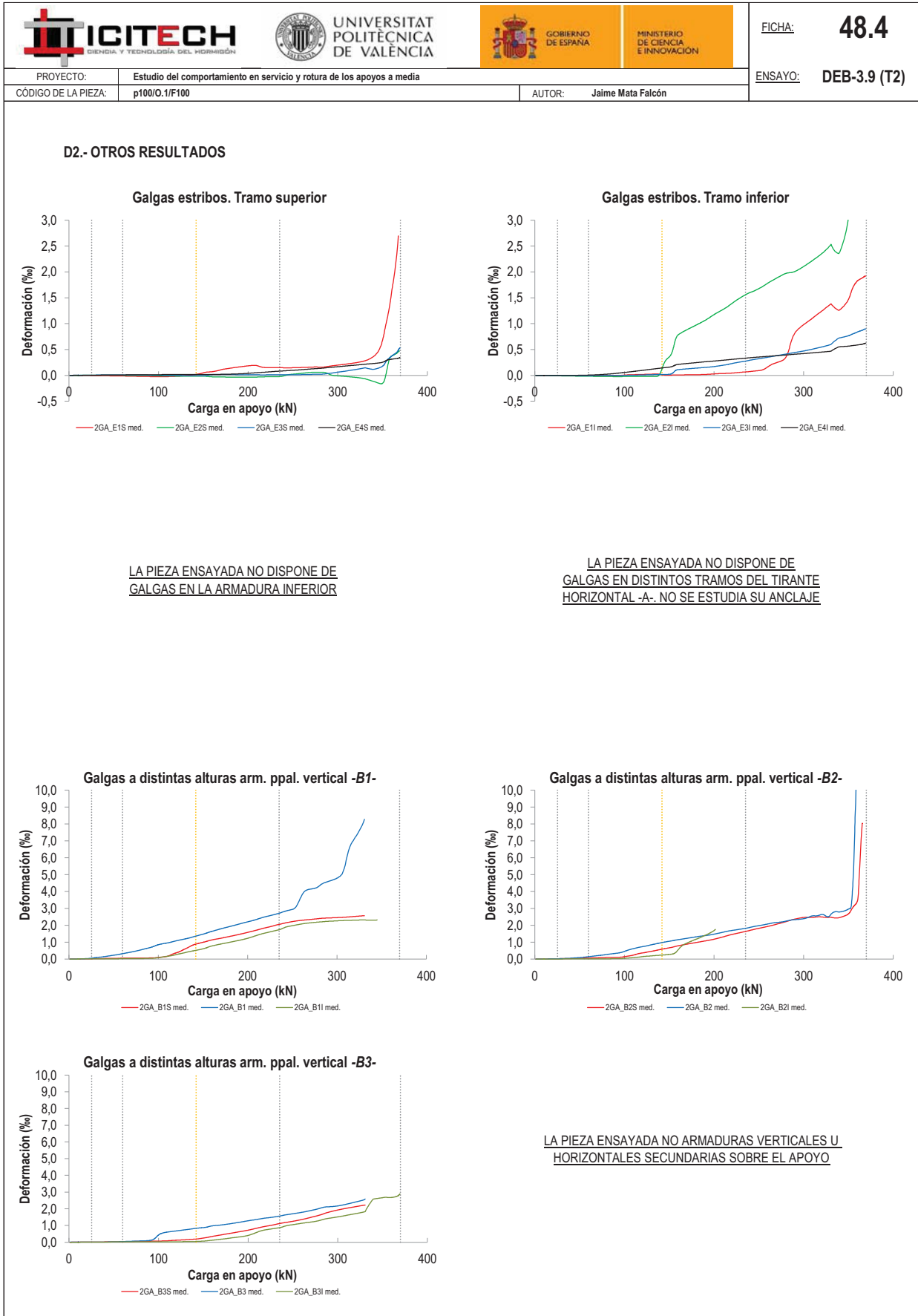
   		FICHA: 48.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.9 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F100	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-



   		FICHA: 48.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.9 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/F100	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

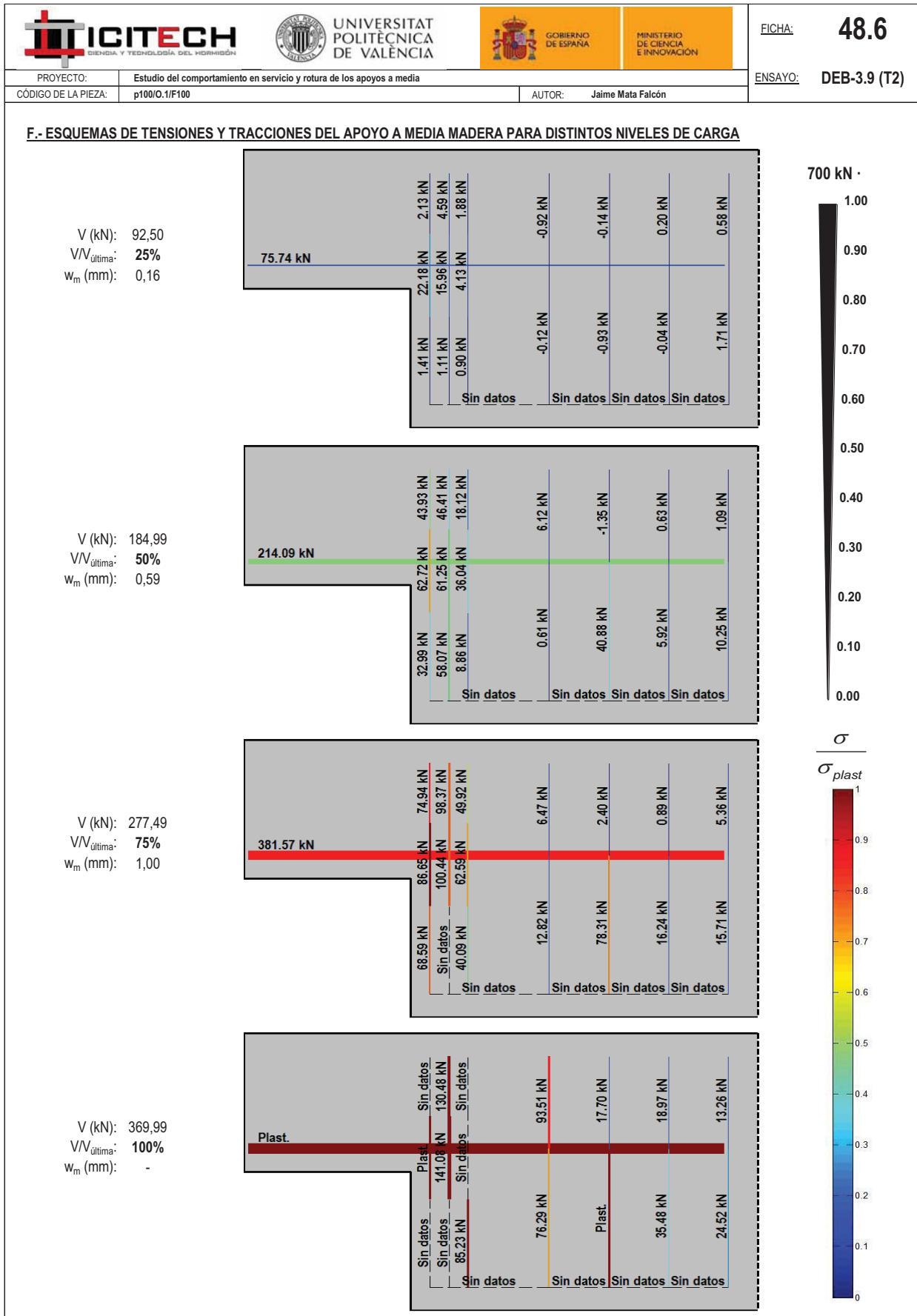
Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
18,50	5%	0,00	0,30	0,02	0,02	0,01	0,00	-
37,00	10%	0,04	0,59	0,12	0,12	0,04	0,01	-
55,50	15%	0,06	0,89	0,19	0,27	0,11	0,03	-
74,00	20%	0,10	1,20	0,35	0,46	0,23	0,07	-
92,50	25%	0,16	1,48	0,47	0,71	0,35	0,13	-
111,00	30%	0,26	1,81	0,64	0,96	0,63	0,61	-
129,49	35%	0,34	2,12	0,79	1,19	0,84	0,74	-
147,99	40%	0,43	2,48	0,99	1,44	1,04	0,86	-
166,49	45%	0,51	2,90	1,18	1,74	1,20	1,01	-
184,99	50%	0,59	3,25	1,33	2,00	1,35	1,15	-
203,49	55%	0,67	3,63	1,51	2,25	1,51	1,31	-
221,99	60%	0,76	4,04	1,72	2,53	1,71	1,46	-
240,49	65%	0,84	4,48	1,92	2,80	1,88	1,62	-
258,99	70%	0,92	4,93	2,11	3,57	2,07	1,78	-
277,49	75%	1,00	5,41	2,37	4,27	2,22	1,99	-
295,99	80%	1,09	5,95	2,77	4,71	2,36	2,15	-
314,49	85%	1,23	6,47	3,23	6,47	2,58	2,33	-
332,99	90%	1,39	6,92	5,33	7,99	2,68	2,53	-
351,49	95%	-	-	-	-	4,39	-	-
369,99	100%	-	-	-	-	15,16	-	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	25,41	6,9%	0,02	0,41	0,04	0,05	0,01	0,01	-
Punto de cambio de rigidez	60,00	16,2%	0,07	0,96	0,22	0,32	0,14	0,04	-
Abertura de fisura 0,20 mm	97,69	26,4%	0,20	1,57	0,51	0,81	0,41	0,31	-
Abertura de fisura 0,40 mm	141,98	38,4%	0,40	2,36	0,93	1,36	0,98	0,83	-
Abertura de fisura 0,60 mm	187,61	50,7%	0,60	3,30	1,35	2,03	1,37	1,17	-
Abertura de fisura 0,80 mm	231,66	62,6%	0,80	4,26	1,82	2,66	1,79	1,53	-
Primera plastificación	235,22	63,6%	0,81	4,35	1,86	2,72	1,82	1,57	-


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




 		 		FICHA: 48.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.9 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/F100	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO AL 96% DE Q_{max} (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO AL 96% DE Q_{max} (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA AL 96% DE Q_{max}







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior arranca con una inclinación de unos 45° y su abertura se reduce bastante al alcanzar las armaduras principales al dividirse en varias fisuras.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura desplazada hacia el apoyo, la cual se abre muy rápidamente. Dicha fisura concentra todas las deformaciones cercanas a la rotura y enlaza con las fisuras generadas a partir de la fisura que parte del apoyo.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los siguientes tirantes principales: 1º/ vertical 1ª rama - 2º/ horizontal - 3º/ vertical 2ª rama // No se registra la plastificación de la 3ª rama del tirante vertical por perderse la medida de las galgas cerca de la rotura. Es seguro que se habrá producido la plastificación.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce de manera muy dúctil, con progresión en vertical de las fisuras que parten desde el entorno de la esquina.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce un descenso progresivo de la carga tras la rotura, sin observarse una estabilización, por lo que se procede a la descarga de la pieza.

H.49 DEB-3.10 (T1)

				FICHA: 49.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.10 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.4/Ph
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 07/06/2012
 Edad (días): 34

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 2φ15	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 3,53	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 44%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

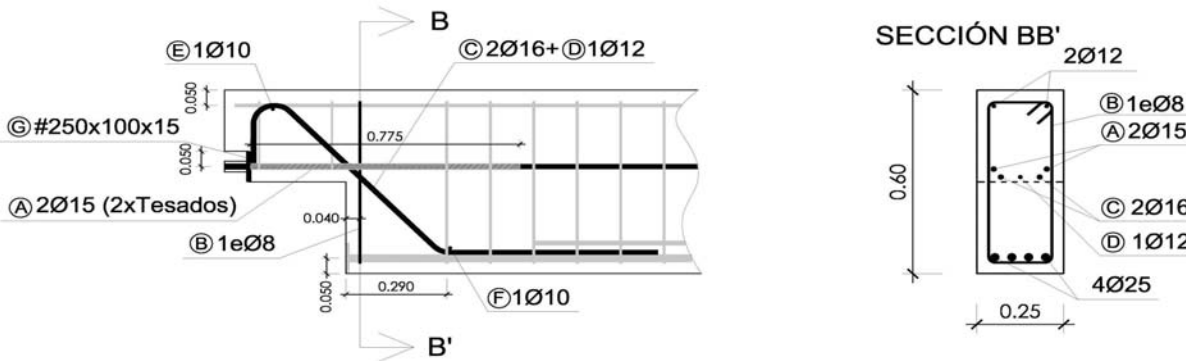
V última (kN): 354,87
 V (w=0,4 mm) (kN): 171,85 48%
 Modo de fallo: SY+SP (D-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
41,8	3,74	0,00%	- -

Fuerza de tesado (kN): 263,1

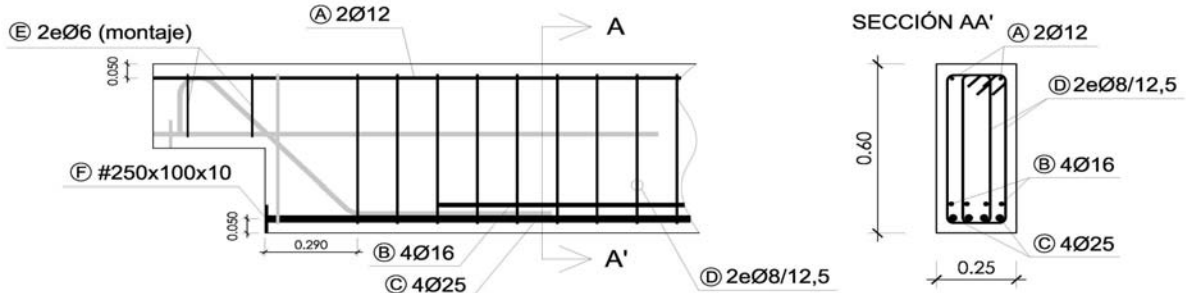
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

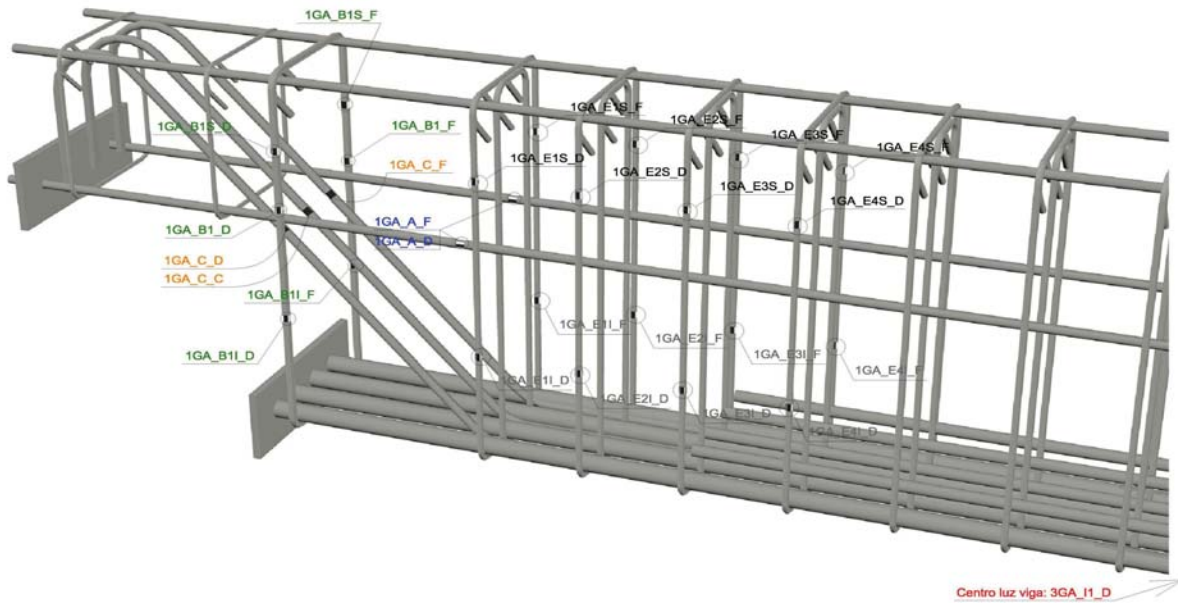
B2.- ARMADO DE LA VIGA



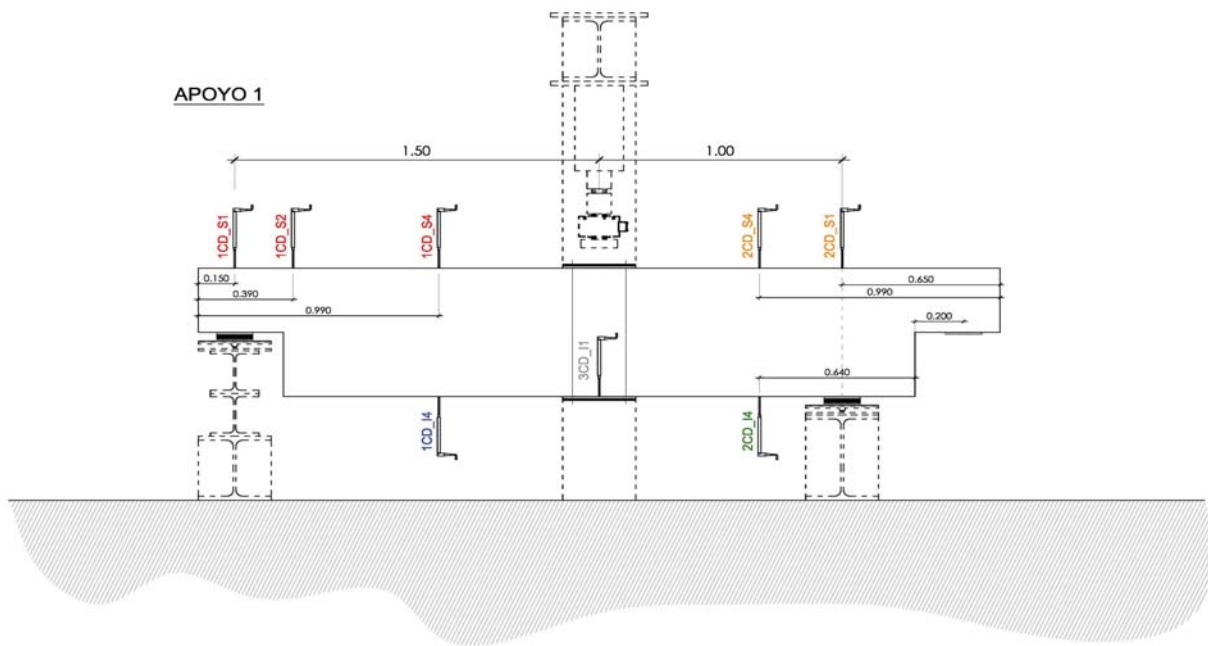
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



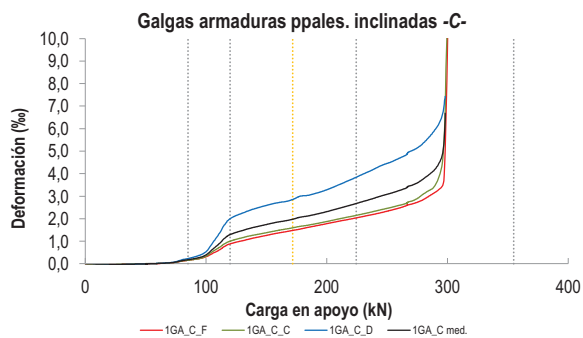
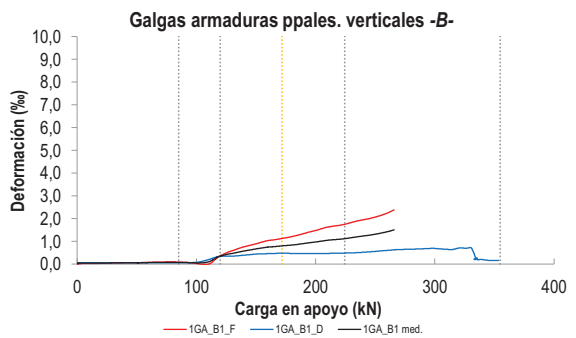
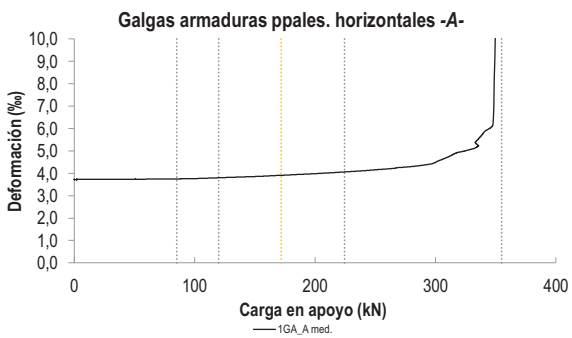
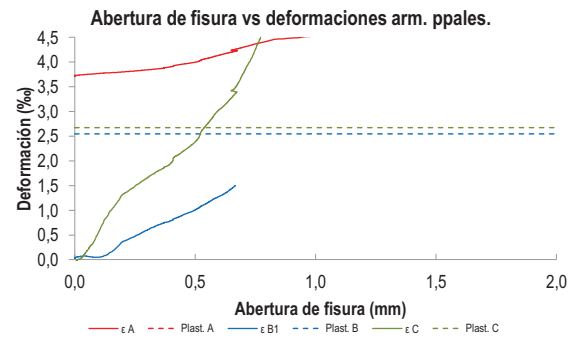
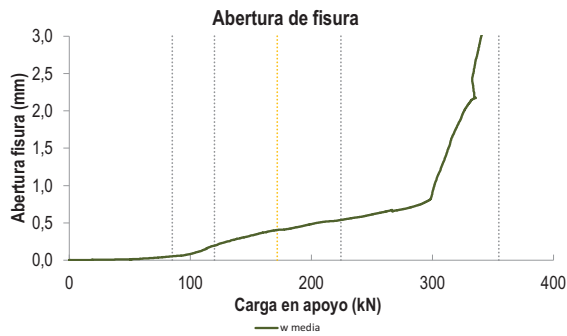
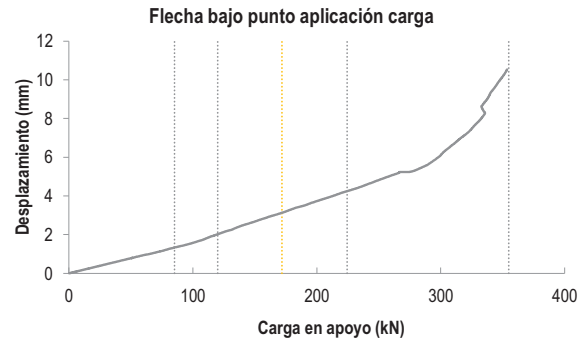
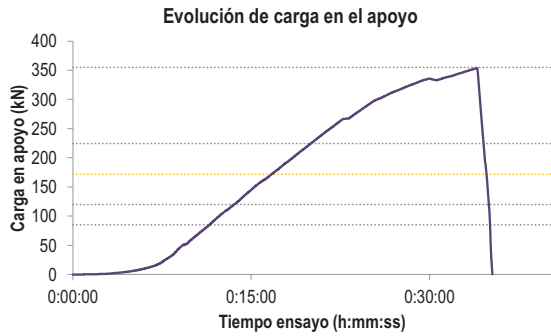
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 49.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.10 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

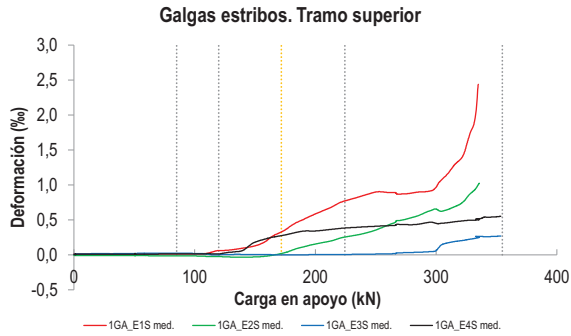
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

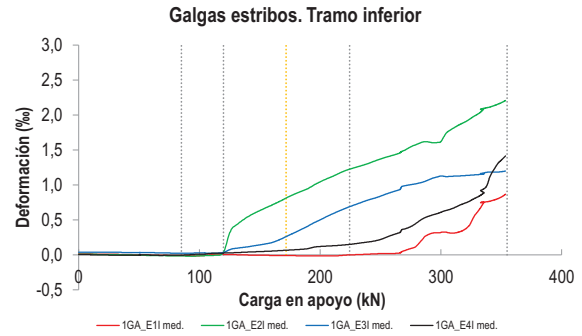


PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-3.10 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.4/Ph	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

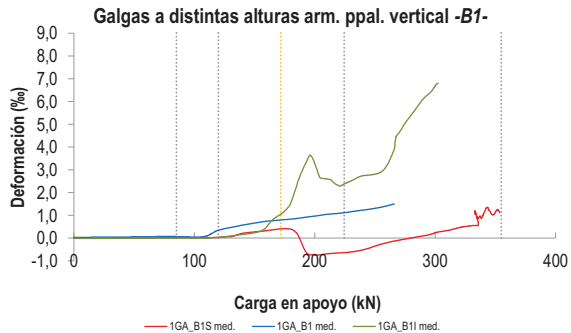
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 49.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.10 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.4/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	3,72	0,00	-	-	-0,07
17,74	5%	0,00	0,28	3,73	0,04	-	-	-0,05
35,49	10%	0,00	0,55	3,73	0,05	-	-	-0,02
53,23	15%	0,00	0,82	3,74	0,06	-	-	0,00
70,97	20%	0,03	1,09	3,74	0,07	-	-	0,05
88,72	25%	0,06	1,39	3,75	0,07	-	-	0,21
106,46	30%	0,11	1,70	3,77	0,06	-	-	0,68
124,20	35%	0,22	2,11	3,81	0,40	-	-	1,38
141,95	40%	0,30	2,52	3,84	0,59	-	-	1,64
159,69	45%	0,37	2,88	3,88	0,74	-	-	1,85
177,43	50%	0,41	3,25	3,92	0,82	-	-	2,06
195,18	55%	0,47	3,62	3,97	0,94	-	-	2,25
212,92	60%	0,52	4,00	4,02	1,06	-	-	2,51
230,66	65%	0,56	4,37	4,08	1,16	-	-	2,77
248,41	70%	0,61	4,78	4,15	1,29	-	-	3,06
266,15	75%	0,66	5,20	4,23	1,47	-	-	3,39
283,89	80%	0,72	5,45	4,32	-	-	-	3,93
301,64	85%	1,00	6,22	4,53	-	-	-	5,54
319,38	90%	1,76	7,16	4,93	-	-	-	-
337,12	95%	2,56	8,71	5,48	-	-	-	-
354,87	100%	3,55	10,26	13,07	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

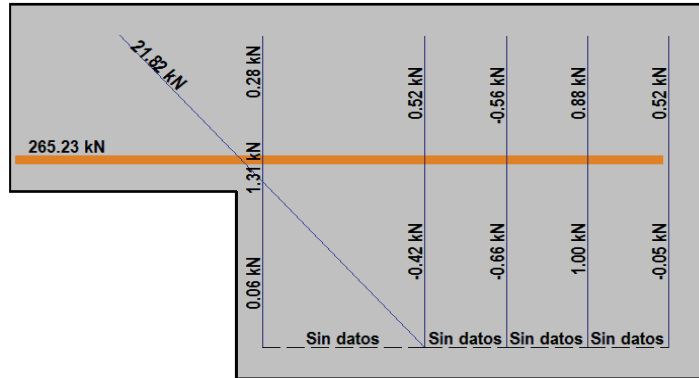
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	85,16	24,0%	0,05	1,33	3,75	0,07	-	-	0,18
Punto de cambio de rigidez	120,00	33,8%	0,20	2,02	3,80	0,34	-	-	1,29
Abertura de fisura 0,20 mm	120,55	34,0%	0,20	2,03	3,80	0,35	-	-	1,31
Abertura de fisura 0,40 mm	171,85	48,4%	0,40	3,13	3,91	0,80	-	-	1,98
Abertura de fisura 0,60 mm	247,20	69,7%	0,60	4,76	4,14	1,29	-	-	3,04
Abertura de fisura 0,80 mm	292,61	82,5%	0,80	5,76	4,39	-	-	-	4,66
Primera plastificación	224,46	63,3%	0,54	4,25	4,06	1,12	-	-	2,68

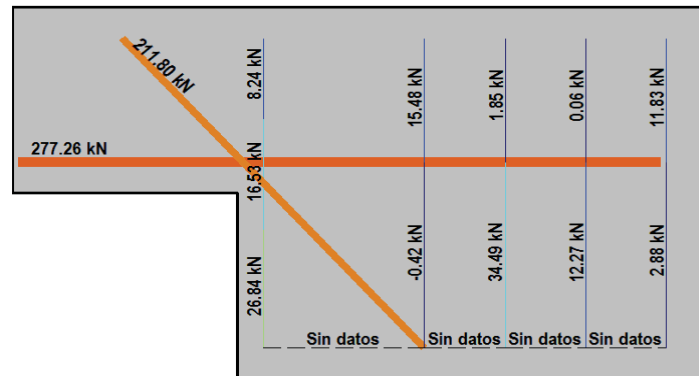
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

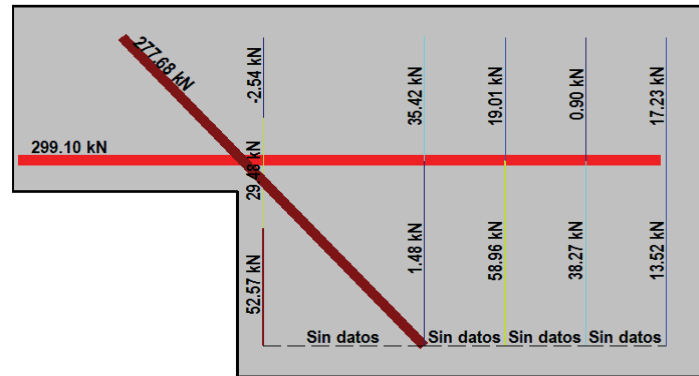
V (kN): 88,72
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,06



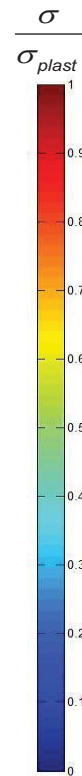
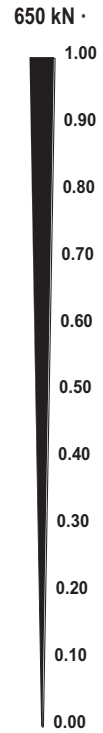
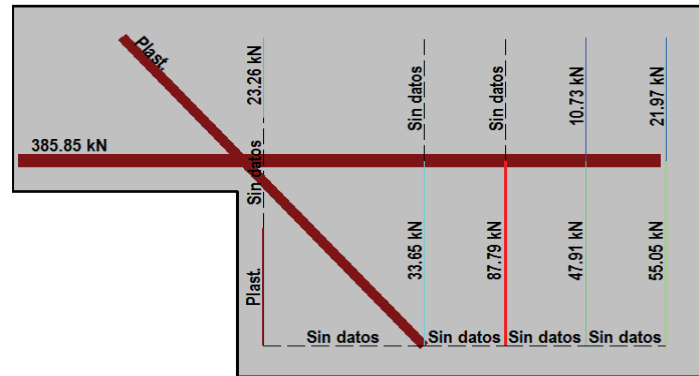
V (kN): 177,43
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,41







V (kN): 266,15
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 0,66



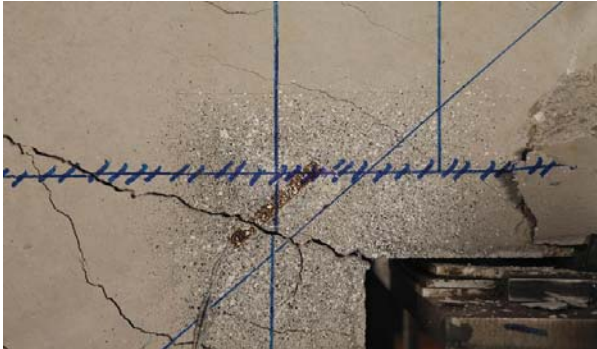
V (kN): 354,87
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 3,55




 		 		FICHA: 49.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.10 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

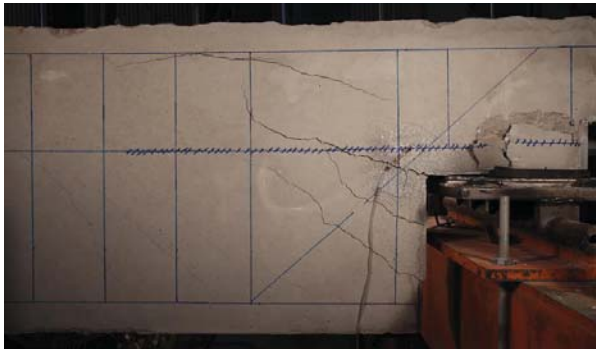
FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (CARA FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (CARA DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA (INSTANTE DE ROTURA)



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - Dicha fisura arranca con una inclinación inferior a los 30°. El resto de fisuras generadas en el paramento vertical del apoyo tienen una inclinación superior, en el entorno de los 45°.
 - Cerca de la rotura se produce una fisura que parte del apoyo, que se junta en el instante de rotura con una fisura muy vertical producida en la placa de anclaje, produciendo el levantamiento súbito del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican de tirantes principales: 1º/ inclinado - 2º/ horizontal -- No se registra plastificación del tirante vertical
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de las fisuras a la altura de la armadura superior, produciendo el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una rotura frágil de la pieza, produciéndose un agotamiento brusco.

H.50 DEB-3.10 (T2)

				FICHA: 50.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.10 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.4/Ph
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 08/06/2012
 Edad (días): 35

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 2φ15	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 3,53	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 44%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

Variante 1:	Variante 2:	
Pretensado T2.3	-	Pretensado Dywidag bajo de la arm. horizontal
		0

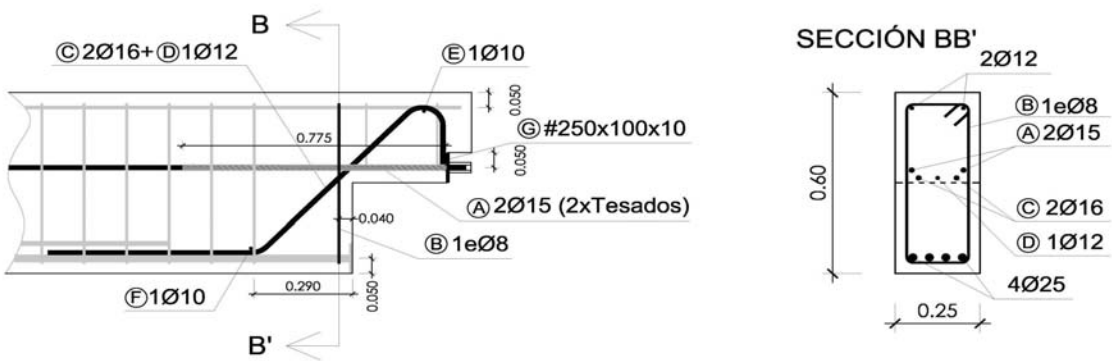
V última (kN): 370,23
 V (w=0,4 mm) (kN): 188,24 51%
 Modo de fallo: SY+SP (D-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
41,8	3,74	0,00%	- -

Fuerza de tesado (kN): 208,1

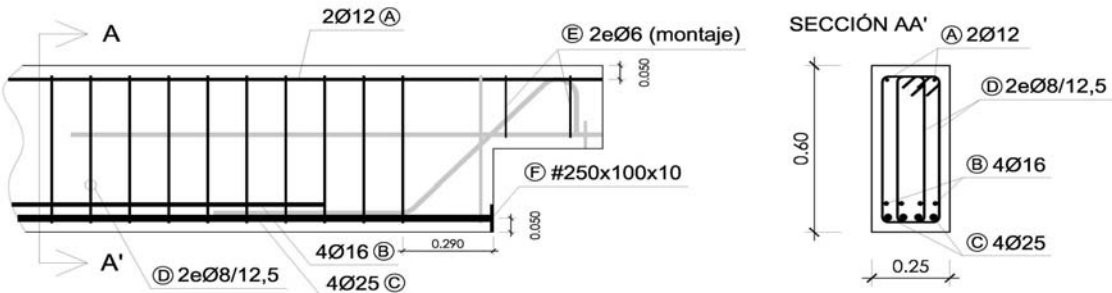
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



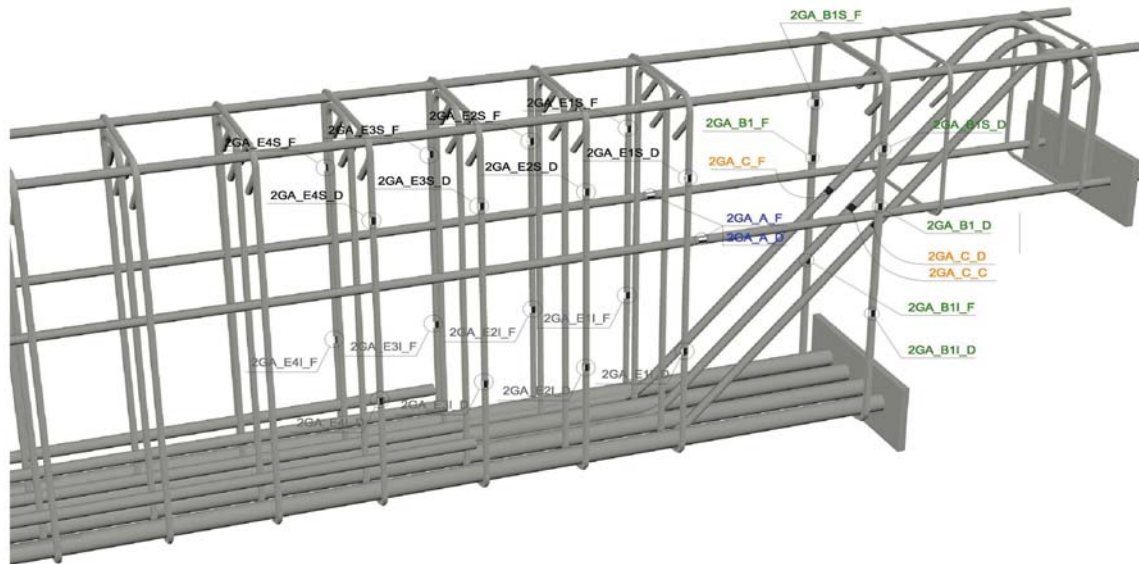
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.4/Ph
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

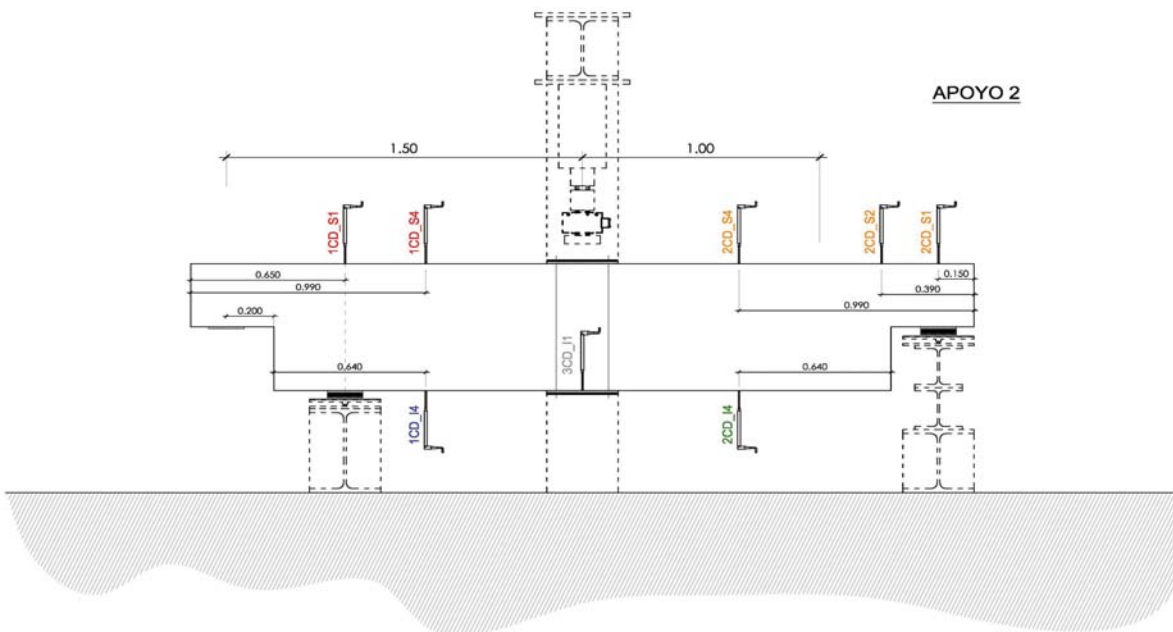
ENSAYO: **DEB-3.10 (T2)**

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



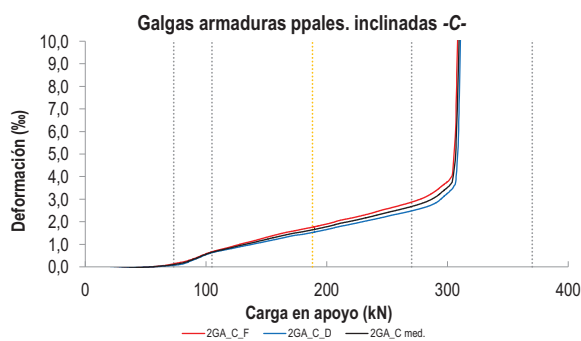
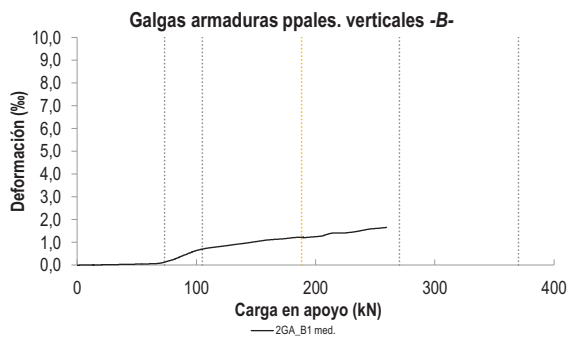
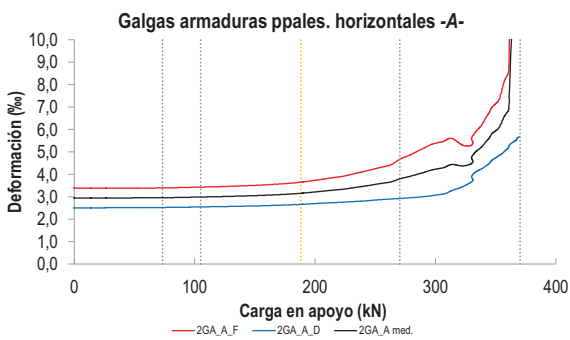
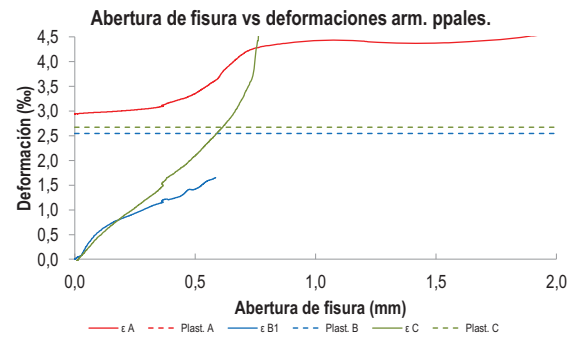
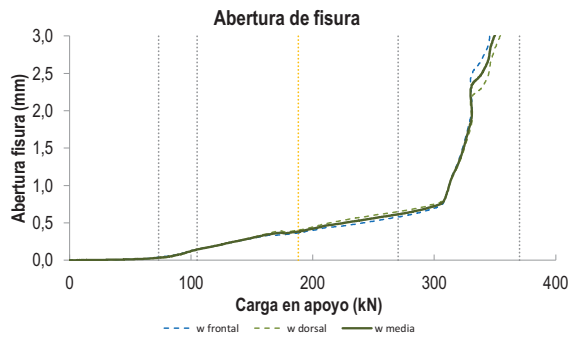
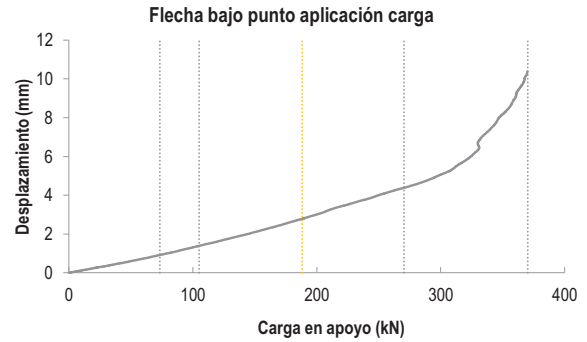
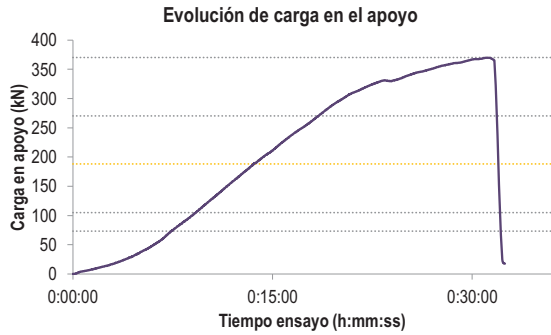
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 50.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.10 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

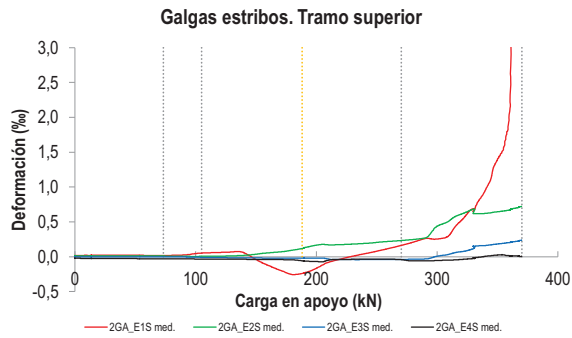
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

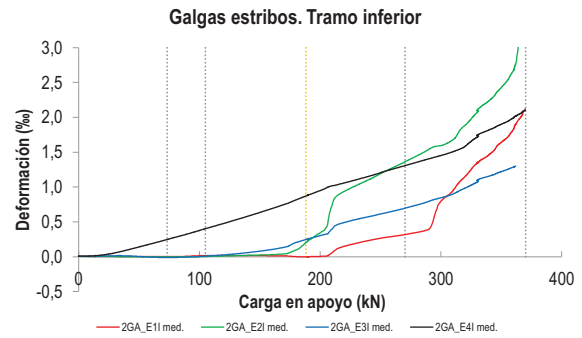


   		FICHA: 50.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.10 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

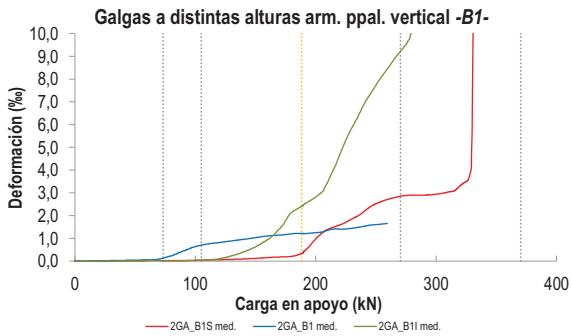
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 50.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.10 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.4/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	2,94	0,00	-	-	-0,12
18,51	5%	0,00	0,22	2,94	0,01	-	-	-0,09
37,02	10%	0,00	0,44	2,95	0,03	-	-	-0,05
55,53	15%	0,02	0,67	2,95	0,05	-	-	0,00
74,05	20%	0,03	0,93	2,96	0,14	-	-	0,11
92,56	25%	0,09	1,20	2,97	0,49	-	-	0,39
111,07	30%	0,16	1,48	2,99	0,76	-	-	0,73
129,58	35%	0,23	1,77	3,02	0,89	-	-	0,96
148,09	40%	0,29	2,06	3,04	1,02	-	-	1,19
166,60	45%	0,35	2,39	3,08	1,13	-	-	1,42
185,12	50%	0,38	2,73	3,14	1,21	-	-	1,61
203,63	55%	0,44	3,09	3,23	1,27	-	-	1,83
222,14	60%	0,49	3,47	3,33	1,41	-	-	2,05
240,65	65%	0,54	3,81	3,47	1,54	-	-	2,28
259,16	70%	0,58	4,18	3,62	1,64	-	-	2,52
277,67	75%	0,63	4,52	3,89	-	-	-	2,79
296,18	80%	0,71	4,96	4,17	-	-	-	3,35
314,70	85%	1,09	5,57	4,40	-	-	-	12,10
333,21	90%	2,19	6,76	4,81	-	-	-	-
351,72	95%	3,06	8,31	6,12	-	-	-	-
370,23	100%	3,58	9,91	10,20	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	73,33	19,8%	0,03	0,92	2,96	0,13	-	-	0,10
Punto de cambio de rigidez	105,00	28,4%	0,14	1,38	2,99	0,70	-	-	0,64
Abertura de fisura 0,20 mm	121,96	32,9%	0,20	1,65	3,00	0,83	-	-	0,86
Abertura de fisura 0,40 mm	188,24	50,8%	0,40	2,80	3,16	1,21	-	-	1,65
Abertura de fisura 0,60 mm	262,94	71,0%	0,60	4,25	3,67	1,65	-	-	2,57
Abertura de fisura 0,80 mm	305,27	82,5%	0,80	5,23	4,30	-	-	-	6,39
Primera plastificación	270,36	73,0%	0,61	4,38	3,79	-	-	-	2,68

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **50.6**

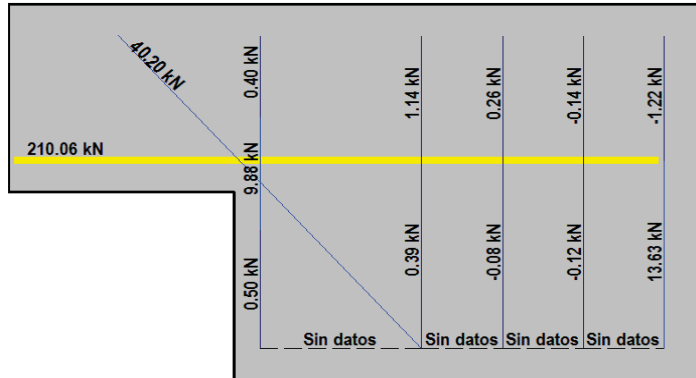
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph

ENSAYO: **DEB-3.10 (T2)**

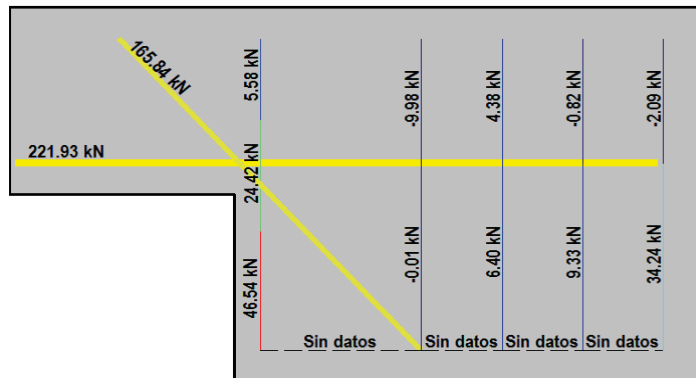
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

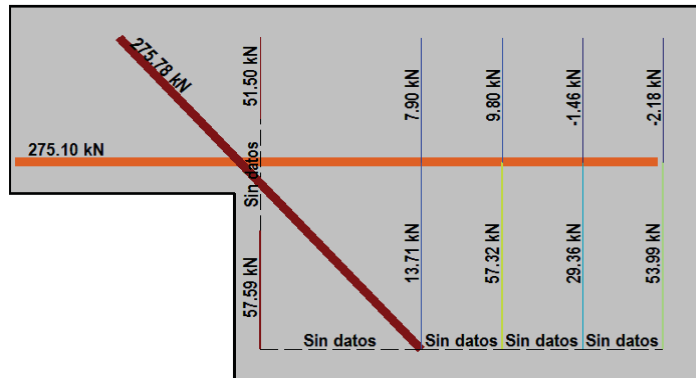
V (kN): 92,56
 V/V_{última}: **25%**
 w_m (mm): 0,09



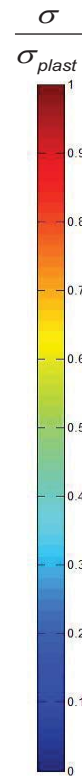
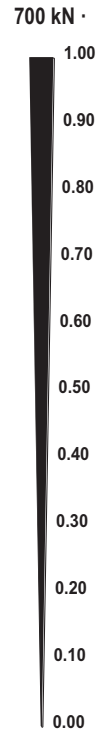
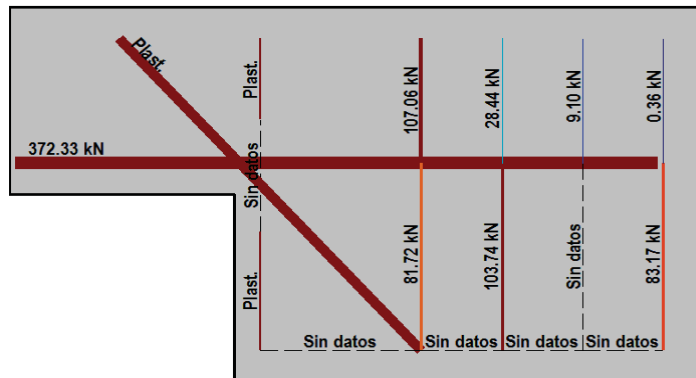
V (kN): 185,12
 V/V_{última}: **50%**
 w_m (mm): 0,38







V (kN): 277,67
 V/V_{última}: **75%**
 w_m (mm): 0,63



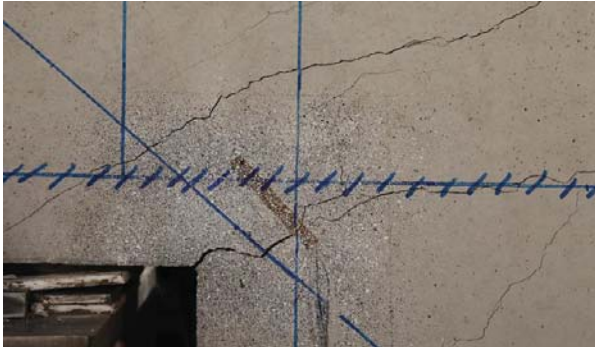
V (kN): 370,23
 V/V_{última}: **100%**
 w_m (mm): 3,58




 		 		FICHA: 50.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.10 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.4/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

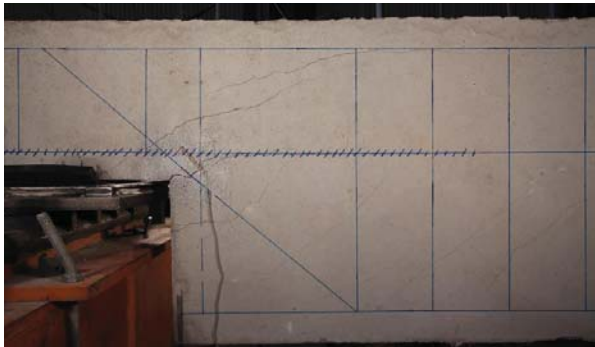
FISURACIÓN DEL APOYO AL 90% DE V_{max} (CARA FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO AL 90% DE V_{max} (CARA DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA AL 90% DE V_{max}







VISTA GENERAL DE LA PIEZA: INSTANTE DE ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior es muy horizontal y al encontrarse con el tirante pretensado horizontal se hace perfectamente horizontal.
 - En el instante de rotura progresan fisuras desde la placa de anclaje, que se juntan con las fisuras que parten desde el borde del apoyo y producen el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los siguientes tirantes principales: 1º/ inclinado - 2º/ horizontal -- Se pierde el registro del tirante vertical, por lo que no se detecta su plastificación.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la esquina, al juntarse con fisuras que parten de la placa de anclaje a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una rotura totalmente frágil de la pieza.

H.51 DEB-3.11 (T1)

				FICHA: 51.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.11 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.3/Ph
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 12/06/2012
 Edad (días): 39

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ15	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 5,30	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 66%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

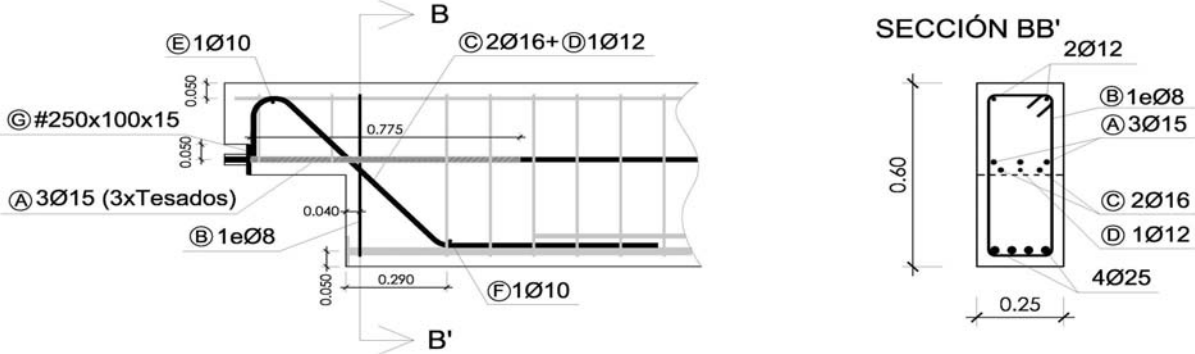
V última (kN): 411,23
 V (w=0,4 mm) (kN): 203,79 50%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
45,5	3,40	0,00%	- -

Fuerza de tesado (kN): 334,5

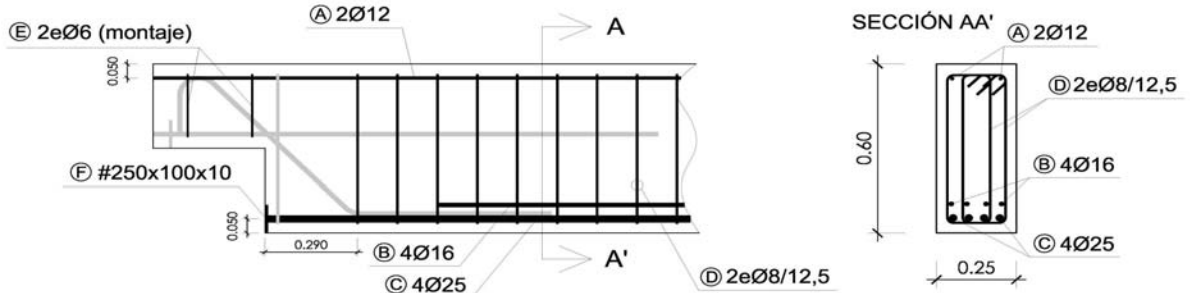
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

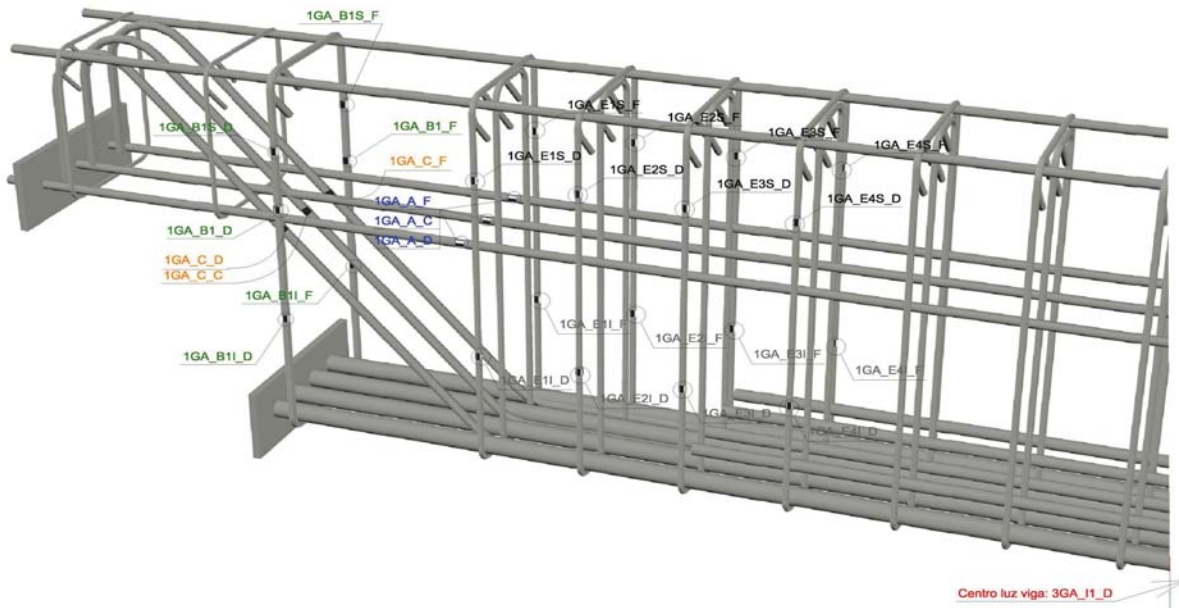
B2.- ARMADO DE LA VIGA



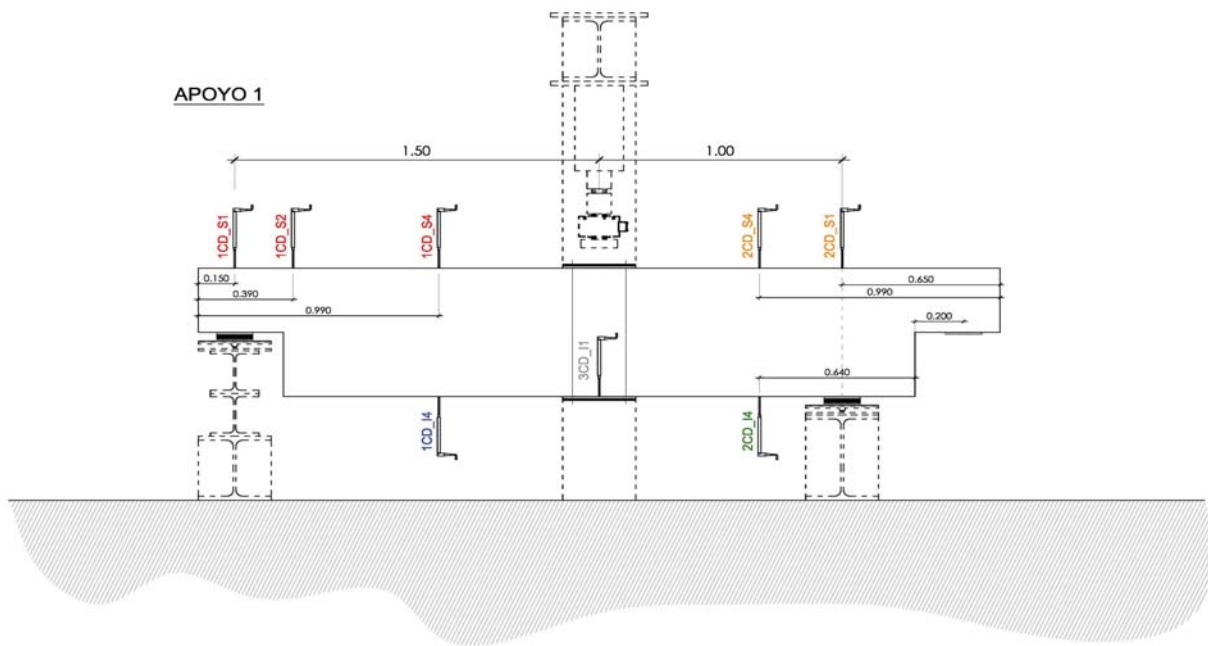
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



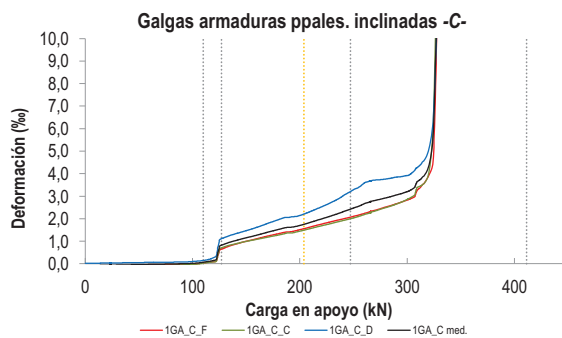
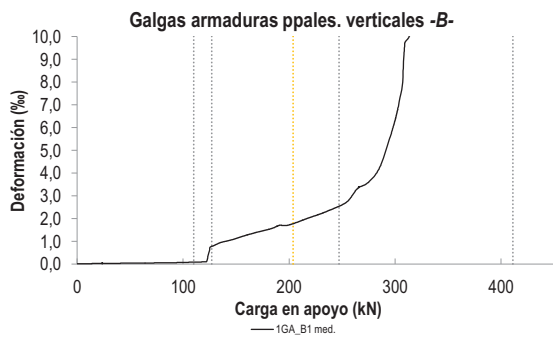
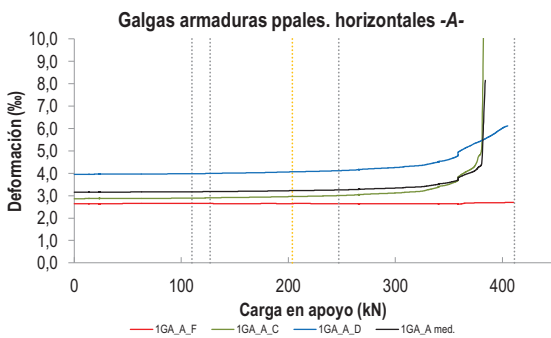
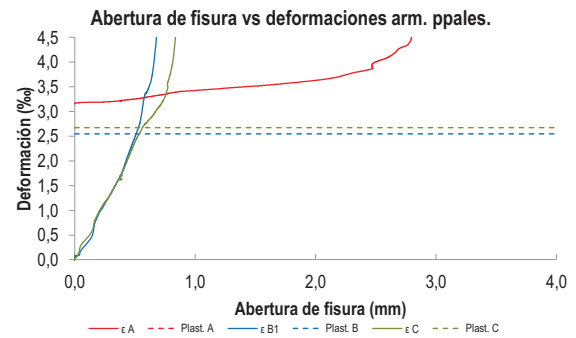
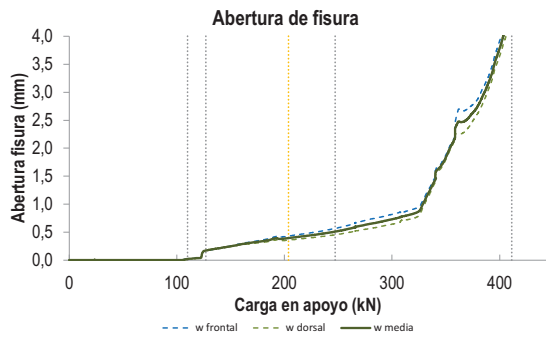
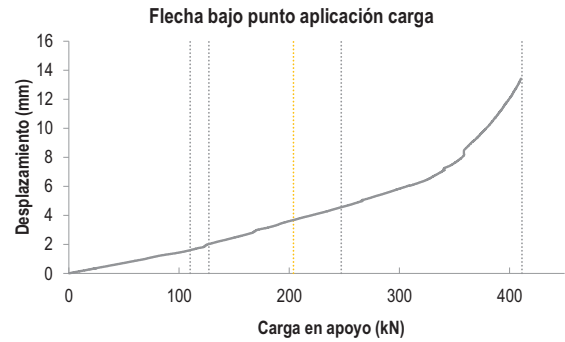
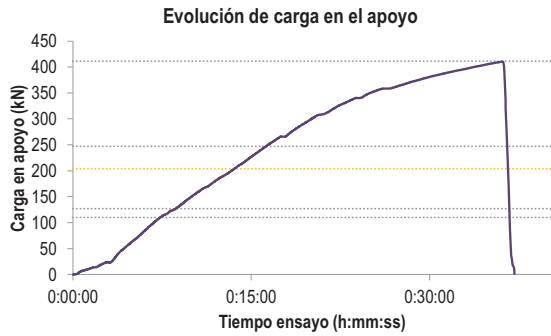
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 51.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.11 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

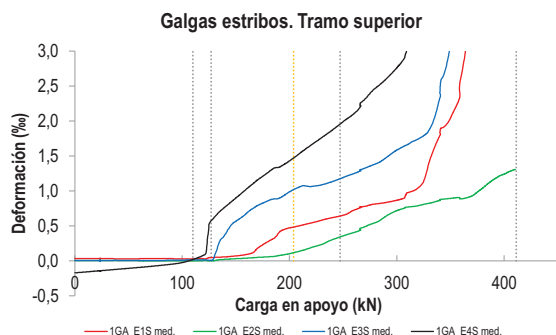
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

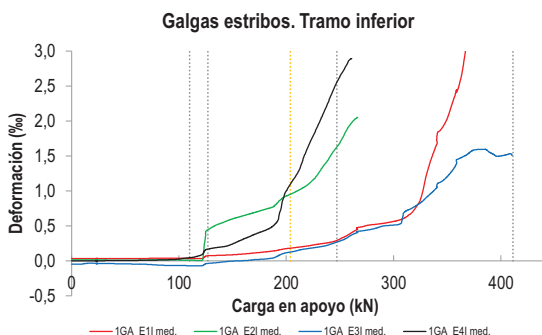


PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-3.11 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.3/Ph	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

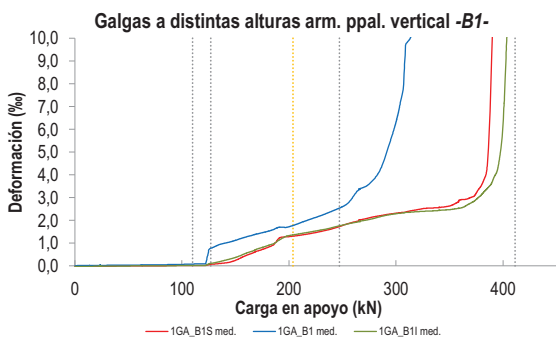
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 51.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.11 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	3,16	0,00	-	-	-0,09
20,56	5%	0,00	0,29	3,16	0,02	-	-	-0,07
41,12	10%	0,00	0,59	3,16	0,03	-	-	-0,05
61,68	15%	0,00	0,88	3,16	0,04	-	-	-0,03
82,25	20%	0,00	1,21	3,17	0,05	-	-	-0,01
102,81	25%	0,00	1,47	3,17	0,07	-	-	0,03
123,37	30%	0,10	1,89	3,18	0,38	-	-	0,47
143,93	35%	0,23	2,34	3,19	1,04	-	-	1,08
164,49	40%	0,30	2,76	3,20	1,34	-	-	1,33
185,05	45%	0,36	3,25	3,21	1,60	-	-	1,59
205,62	50%	0,40	3,71	3,23	1,80	-	-	1,78
226,18	55%	0,45	4,12	3,24	2,15	-	-	2,08
246,74	60%	0,51	4,54	3,26	2,53	-	-	2,42
267,30	65%	0,59	5,02	3,29	3,37	-	-	2,77
287,86	70%	0,68	5,53	3,32	4,57	-	-	3,03
308,42	75%	0,77	6,02	3,36	8,68	-	-	3,52
328,99	80%	1,03	6,62	3,43	12,14	-	-	10,46
349,55	85%	1,86	7,63	3,60	-	-	-	-
370,11	90%	2,55	9,34	4,04	-	-	-	-
390,67	95%	3,25	11,10	7,61	-	-	-	-
411,23	100%	4,23	12,91	-	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

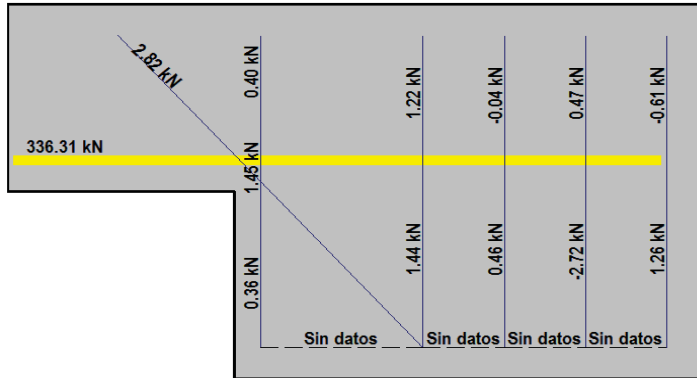
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	110,00	26,7%	0,02	1,60	3,17	0,08	-	-	0,07
Punto de cambio de rigidez	127,00	30,9%	0,17	2,00	3,19	0,73	-	-	0,79
Abertura de fisura 0,20 mm	135,24	32,9%	0,20	2,18	3,19	0,93	-	-	0,96
Abertura de fisura 0,40 mm	203,79	49,6%	0,40	3,67	3,22	1,78	-	-	1,75
Abertura de fisura 0,60 mm	268,26	65,2%	0,60	5,04	3,29	3,39	-	-	2,77
Abertura de fisura 0,80 mm	311,09	75,6%	0,80	6,07	3,37	9,31	-	-	3,64
Primera plastificación	247,15	60,1%	0,51	4,55	3,26	2,54	-	-	2,43

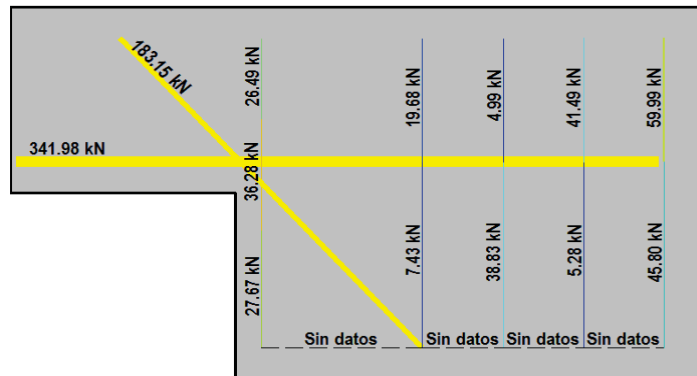
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

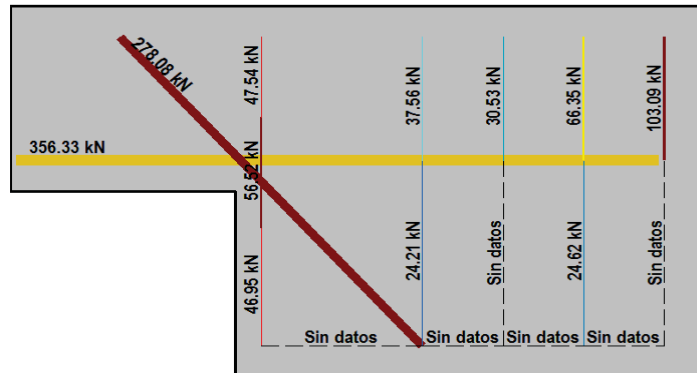
V (kN): 102,81
 V/V_{última}: **25%**
 w_m (mm): 0,00



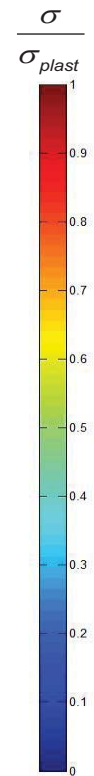
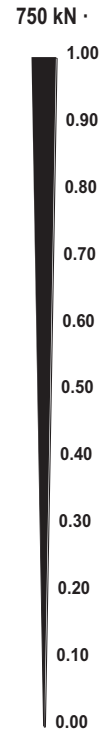
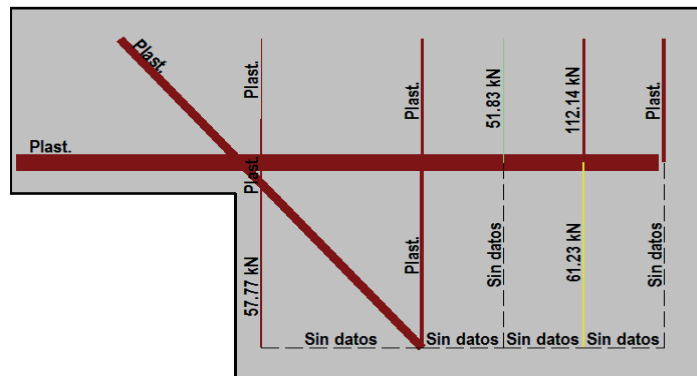
V (kN): 205,62
 V/V_{última}: **50%**
 w_m (mm): 0,40







V (kN): 308,42
 V/V_{última}: **75%**
 w_m (mm): 0,77




V (kN): 411,23
 V/V_{última}: **100%**
 w_m (mm): 4,23




 		 		FICHA: 51.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.11 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

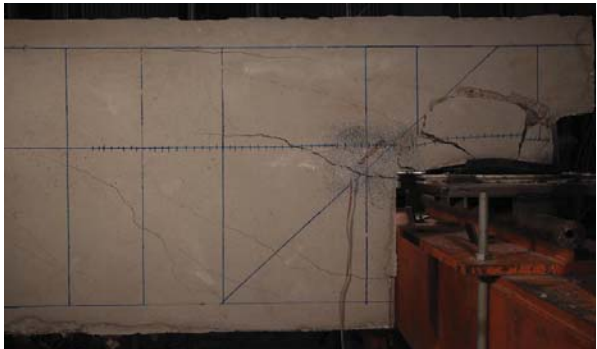
FISURACIÓN DEL APOYO AL 90% DE Vmax (CARA FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO AL 90% DE Vmax (CARA DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA AL 90% DE Vmax







VISTA GENERAL DE LA PIEZA: INSTANTE DE ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura anterior tiene una inclinación muy horizontal, formando un ángulo inferior a los 30° con la horizontal.
 - Muy cerca del instante de rotura aparecen fisuras que parten de la placa de anclaje y buscan la armadura superior de la viga produciendo el desprendimiento brusco del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical e inclinado prácticamente a la misma carga - 2º horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La pieza tiene una rotura frágil por lo que pierde su resistencia una vez se produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.

H.52 DEB-3.11 (T2)

				FICHA: 52.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.11 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.3/Ph		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.3/Ph
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 12/06/2012
 Edad (días): 39

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 3φ15	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 5,30	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 66%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

V última (kN): 395,35
 V (w=0,4 mm) (kN): 251,92 64%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D-H)

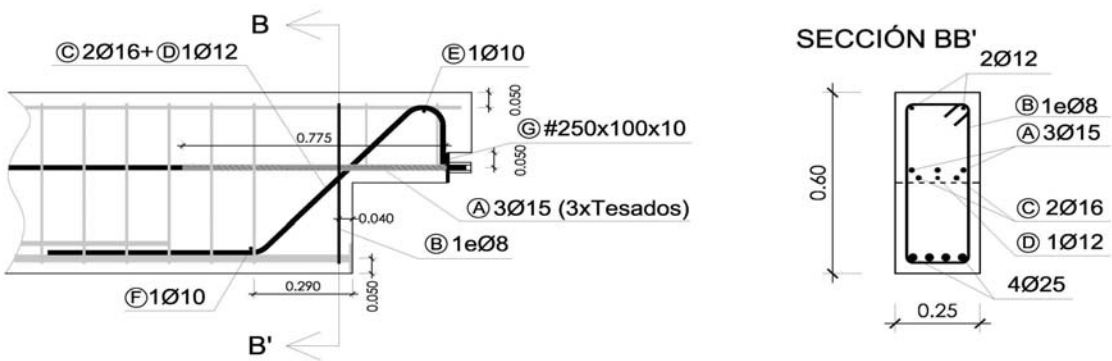
Variante 1:	Variante 2:	Pretensado T2.2	Pretensado Dywidag intermedio de la arm. horizontal
	-		0

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
45,5	3,40	0,00%	- -

Fuerza de tesado (kN): 343,1

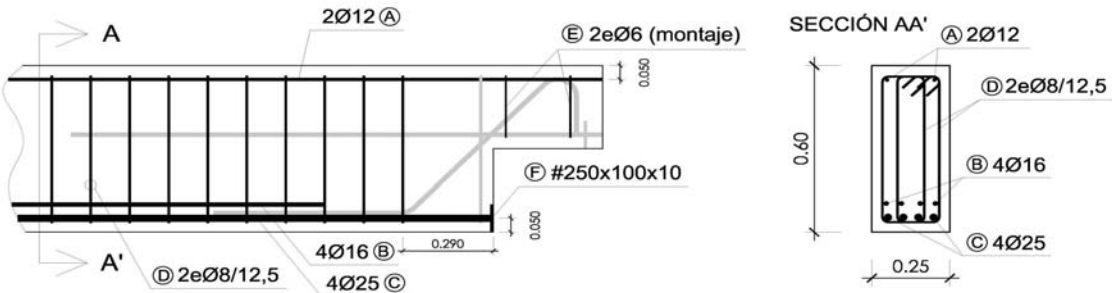
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

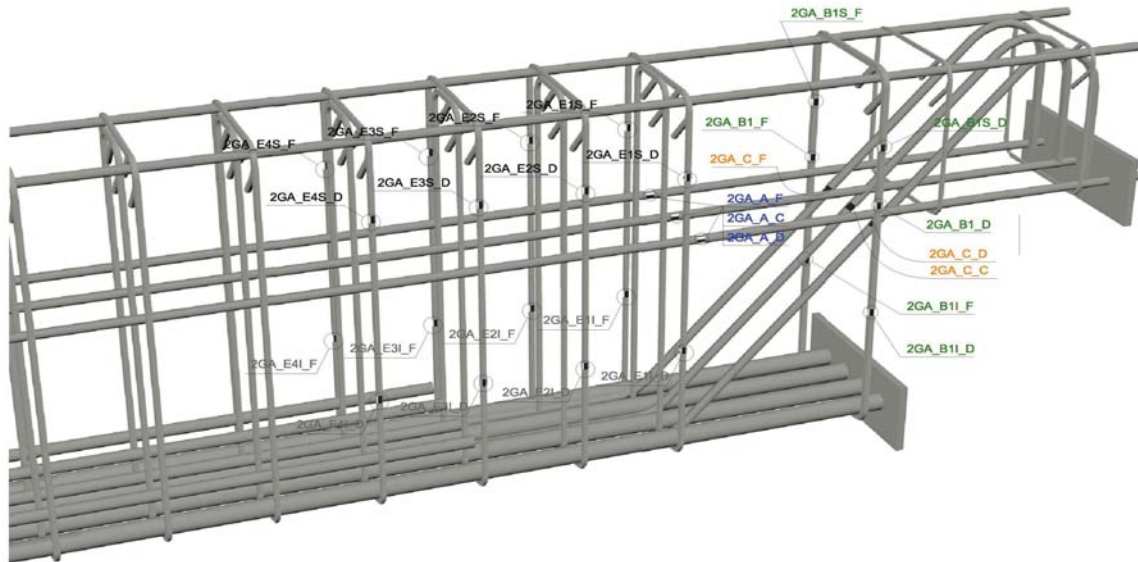
B2.- ARMADO DE LA VIGA



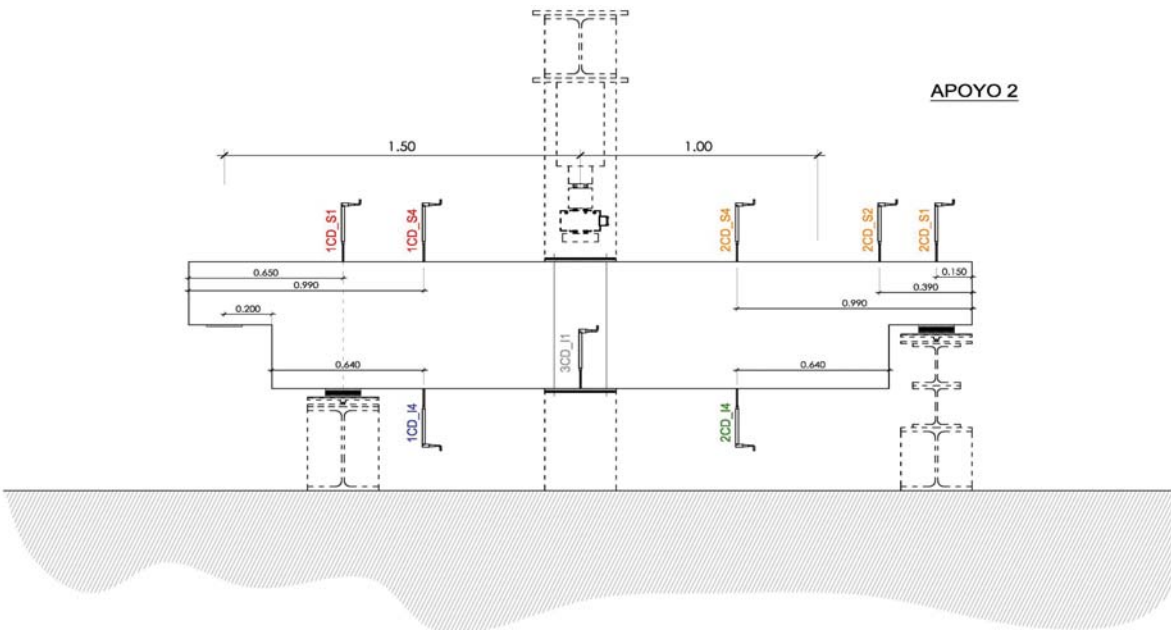
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



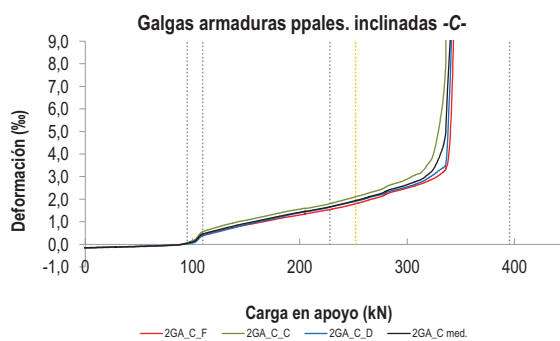
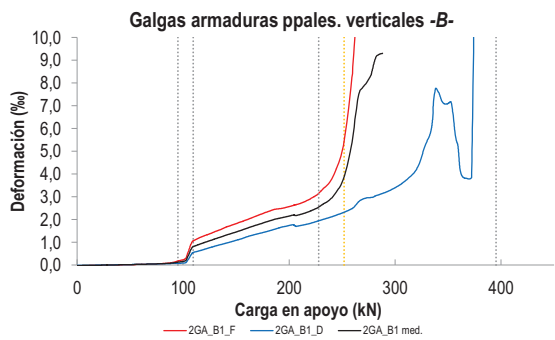
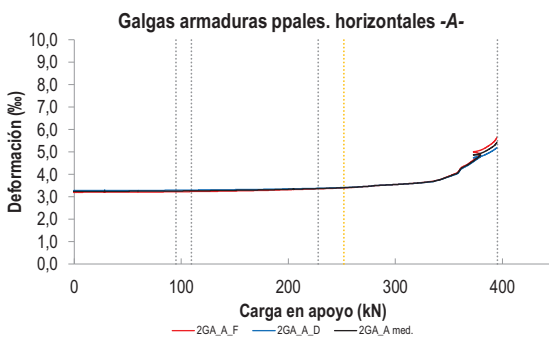
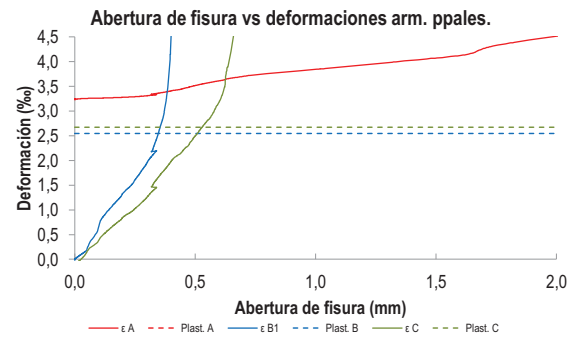
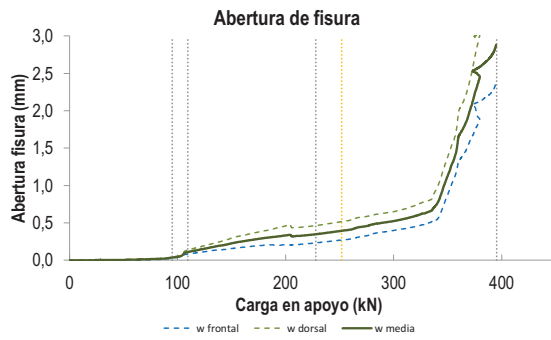
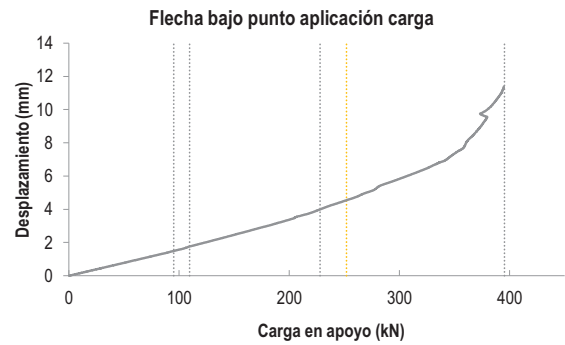
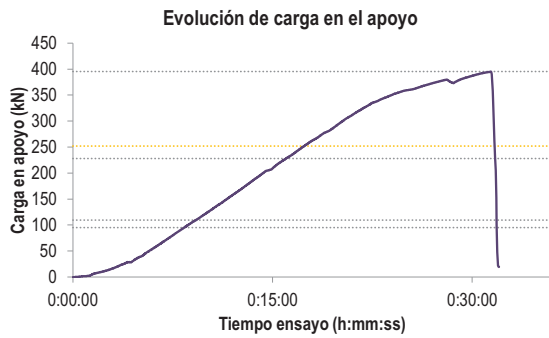
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 52.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.11 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

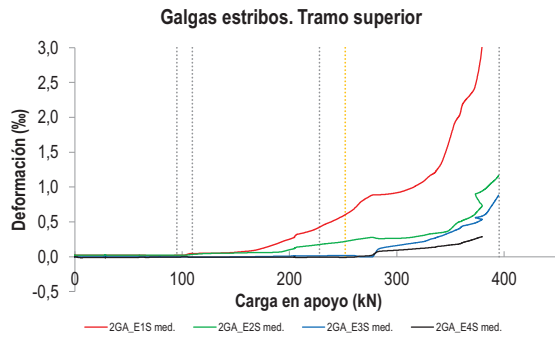
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

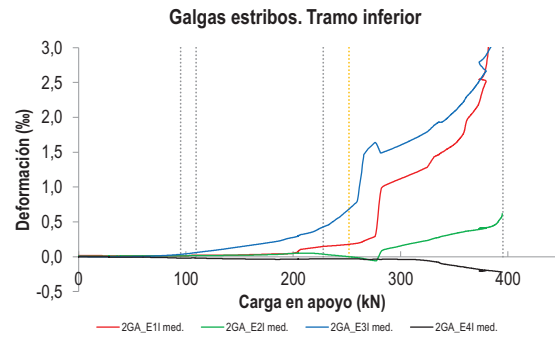


   		FICHA: 52.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.11 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

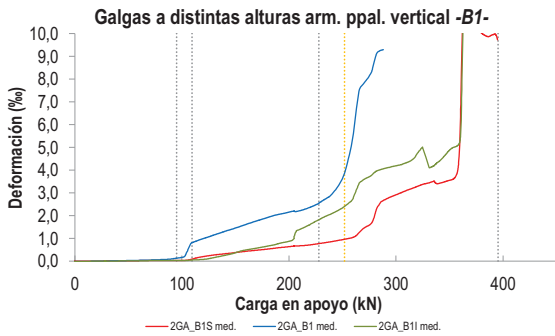
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 52.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.11 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	3,24	0,00	-	-	-0,16
19,77	5%	0,00	0,31	3,24	-0,01	-	-	-0,13
39,53	10%	0,00	0,61	3,24	0,01	-	-	-0,11
59,30	15%	0,00	0,93	3,24	0,03	-	-	-0,08
79,07	20%	0,02	1,24	3,25	0,06	-	-	-0,05
98,84	25%	0,04	1,55	3,25	0,15	-	-	0,09
118,60	30%	0,14	1,92	3,27	0,97	-	-	0,57
138,37	35%	0,19	2,26	3,28	1,28	-	-	0,81
158,14	40%	0,25	2,61	3,29	1,58	-	-	1,01
177,91	45%	0,29	2,96	3,31	1,89	-	-	1,21
197,67	50%	0,33	3,33	3,33	2,13	-	-	1,40
217,44	55%	0,33	3,75	3,35	2,33	-	-	1,56
237,21	60%	0,36	4,22	3,38	2,83	-	-	1,76
256,97	65%	0,40	4,66	3,41	4,89	-	-	2,00
276,74	70%	0,47	5,21	3,48	8,46	-	-	2,29
296,51	75%	0,52	5,75	3,53	-	-	-	2,59
316,28	80%	0,58	6,25	3,59	-	-	-	3,00
336,04	85%	0,70	6,80	3,69	-	-	-	5,30
355,81	90%	1,44	7,71	4,07	-	-	-	-
375,58	95%	2,35	9,40	4,76	-	-	-	-
395,35	100%	2,77	10,95	5,26	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

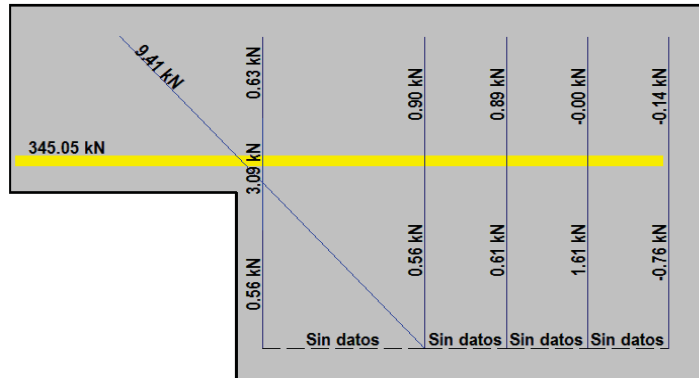
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	95,08	24,1%	0,04	1,49	3,25	0,13	-	-	0,05
Punto de cambio de rigidez	109,50	27,7%	0,11	1,76	3,26	0,80	-	-	0,45
Abertura de fisura 0,20 mm	140,99	35,7%	0,20	2,30	3,28	1,32	-	-	0,84
Abertura de fisura 0,40 mm	251,92	63,7%	0,40	4,55	3,40	3,95	-	-	1,94
Abertura de fisura 0,60 mm	320,09	81,0%	0,60	6,34	3,61	-	-	-	3,14
Abertura de fisura 0,80 mm	341,15	86,3%	0,80	6,91	3,73	-	-	-	5,75
Primera plastificación	227,94	57,7%	0,35	4,00	3,36	2,56	-	-	1,66

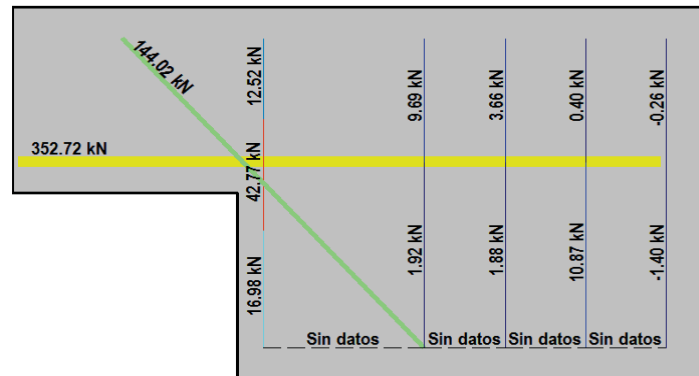
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

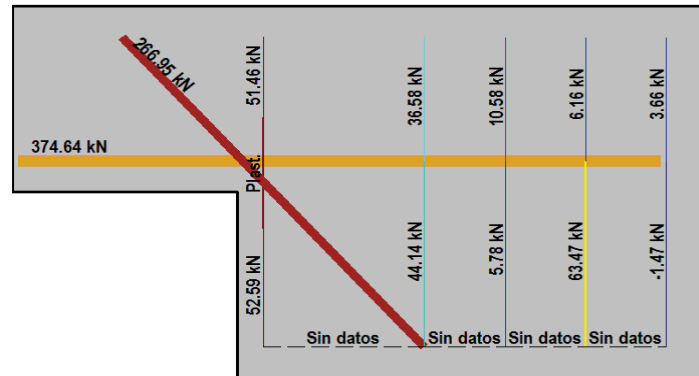
V (kN): 98,84
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,04



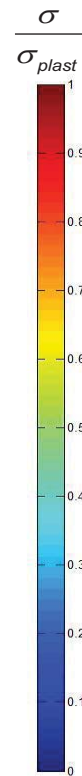
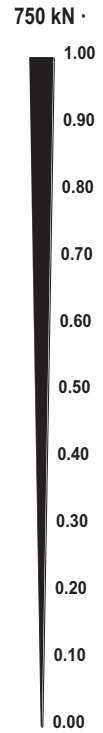
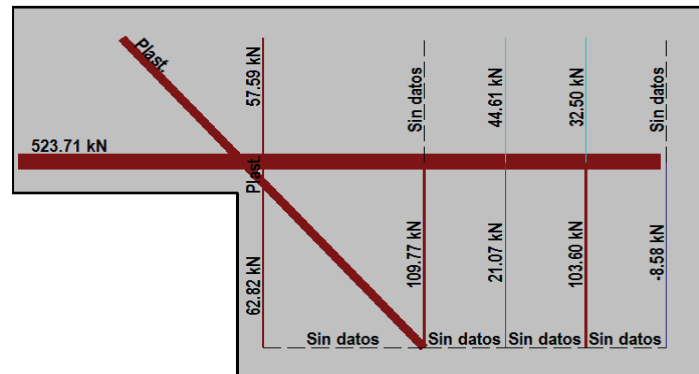
V (kN): 197,67
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,33







V (kN): 296,51
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 0,52




V (kN): 395,35
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 2,77




 		 		FICHA: 52.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-3.11 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.3/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO AL 92% DE LA CARGA ÚLTIMA




VISTA GENERAL DEL APOYO TRAS LA ROTURA



DETALLE DE LA ZONA DE FISURACIÓN TRAS LA ROTURA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - La fisura que parte de la esquina es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - La fisura de la esquina arranca con cierta inclinación, pero al alcanzar la armadura horizontal se vuelve completamente horizontal.
 - En la rotura aparecen fisuras a la altura de la armadura superior de la pieza que llegan a producir el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical - 2º inclinada - 3º horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de fisuras que provienen de la placa de anclaje que producen el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una rotura frágil de la pieza, la cual pierde completamente su resistencia al alcanzar la carga máxima.

H.53 DEB-3.12 (T1)

				FICHA: 53.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.12 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.2/Ph		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.2/Ph
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 13/06/2012
 Edad (días): 40

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ15	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 7,07	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 88%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

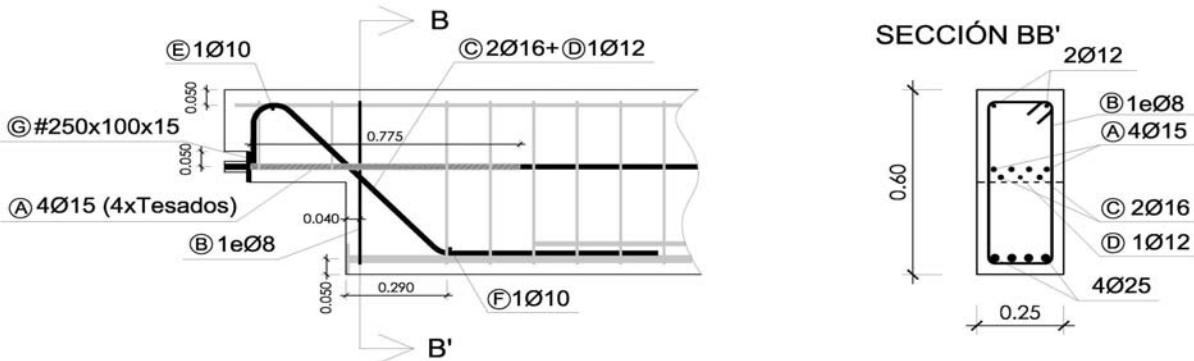
V última (kN): 403,91
 V (w=0,4 mm) (kN): 206,15 51%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
48,4	3,88	0,00%	- -

Fuerza de tesado (kN): 511,0

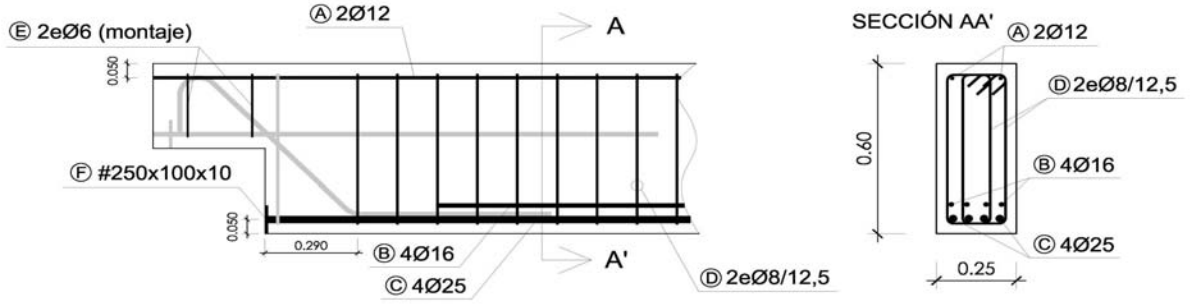
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

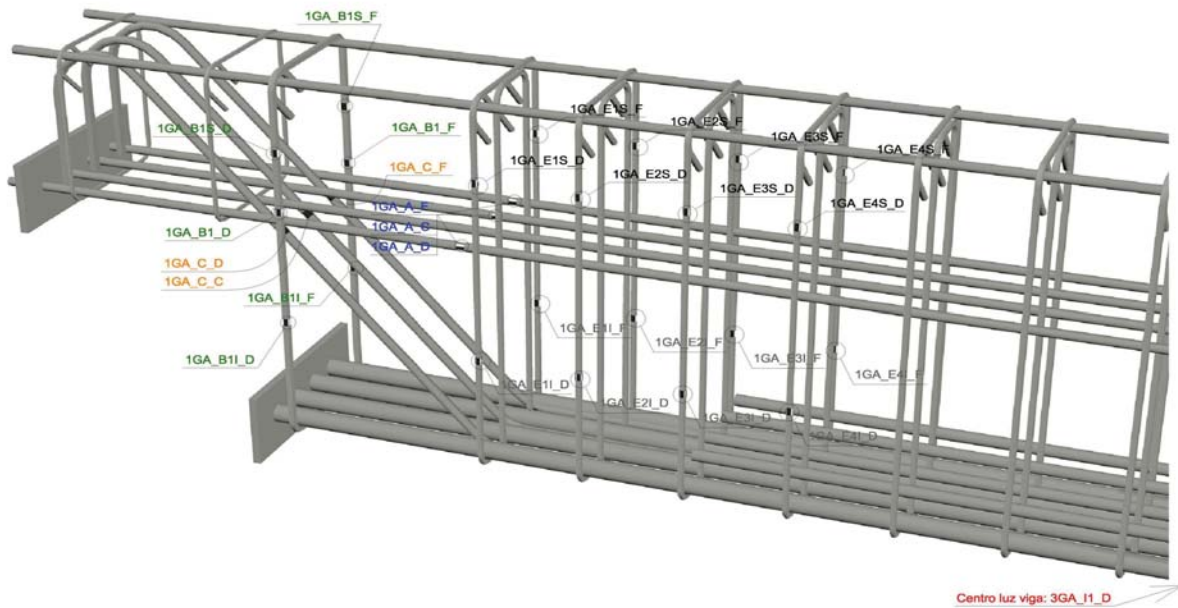
B2.- ARMADO DE LA VIGA



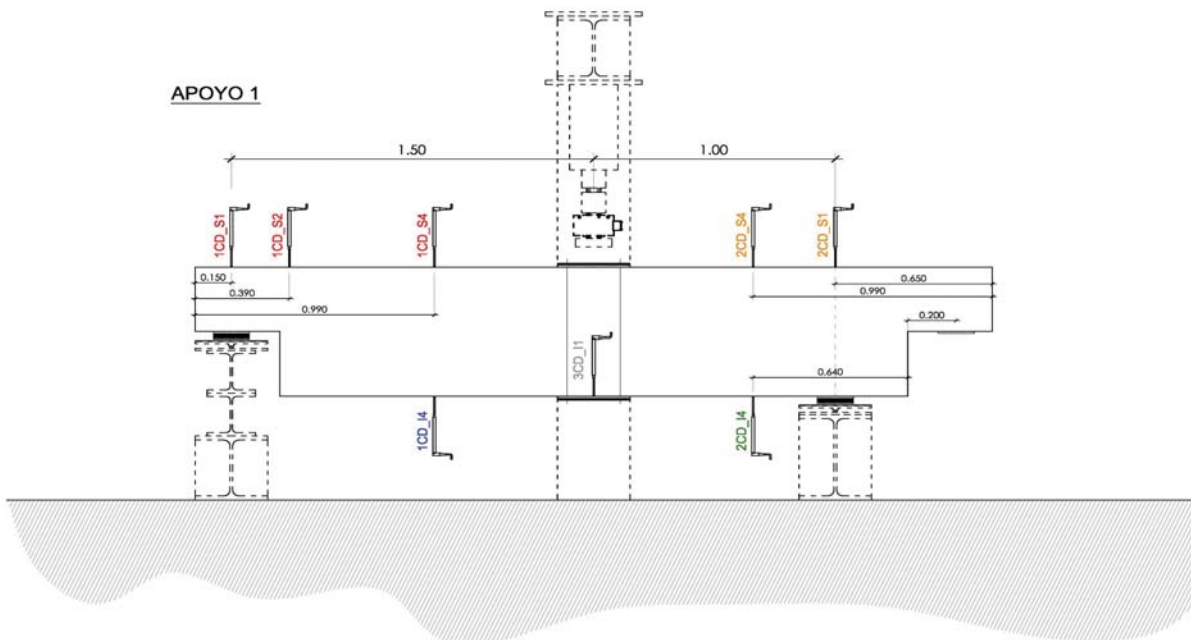
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



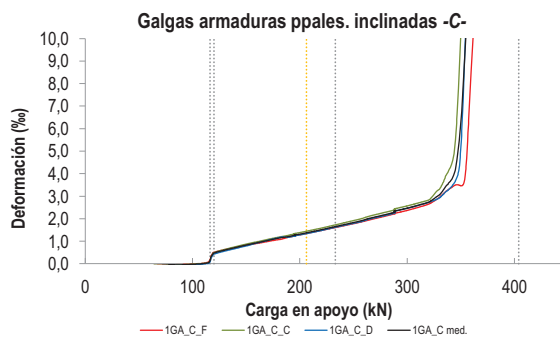
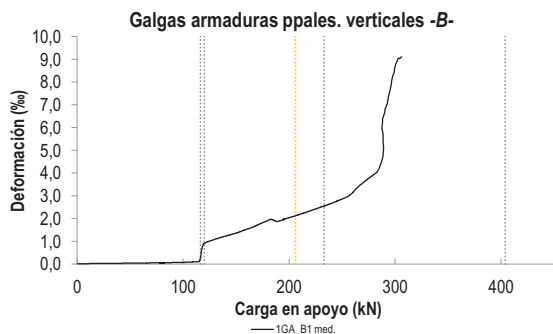
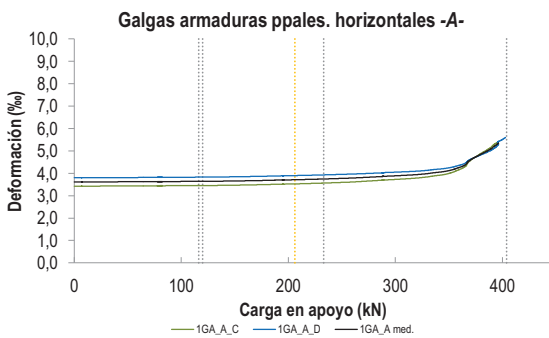
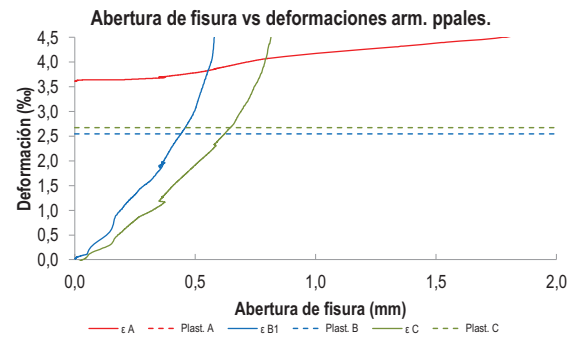
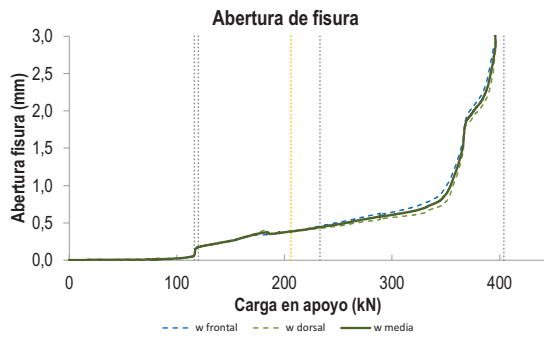
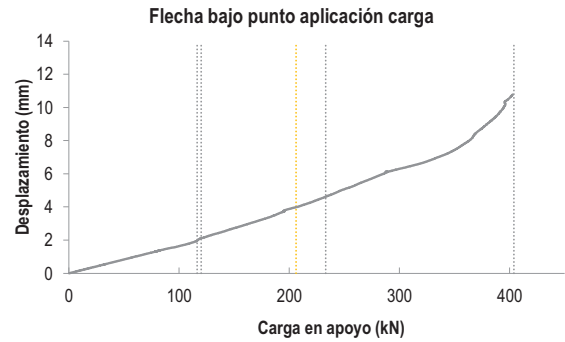
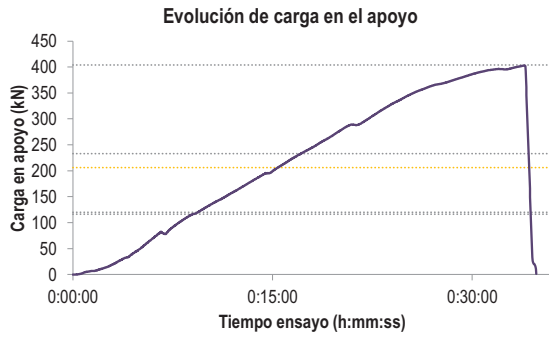
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 53.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.12 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.2/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

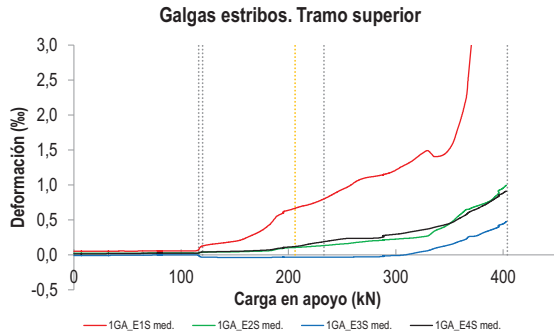
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

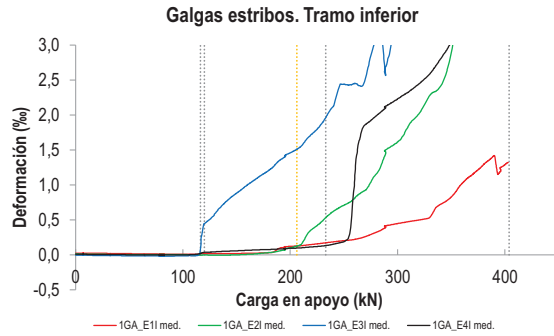


PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-3.12 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.2/Ph	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

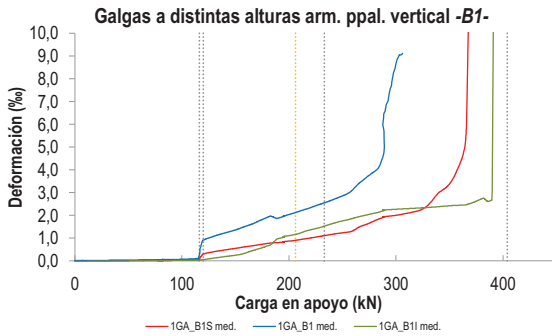
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 53.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.12 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.2/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	3,61	0,00	-	-	-0,17
20,20	5%	0,00	0,34	3,62	0,02	-	-	-0,14
40,39	10%	0,00	0,68	3,62	0,03	-	-	-0,11
60,59	15%	0,00	1,02	3,62	0,04	-	-	-0,09
80,78	20%	0,00	1,35	3,63	0,06	-	-	-0,06
100,98	25%	0,02	1,65	3,63	0,08	-	-	-0,02
121,17	30%	0,18	2,13	3,64	0,93	-	-	0,49
141,37	35%	0,23	2,54	3,65	1,24	-	-	0,73
161,56	40%	0,30	2,95	3,67	1,55	-	-	0,95
181,76	45%	0,37	3,38	3,69	1,94	-	-	1,15
201,95	50%	0,38	3,91	3,71	2,06	-	-	1,33
222,15	55%	0,42	4,34	3,73	2,38	-	-	1,54
242,34	60%	0,46	4,86	3,76	2,71	-	-	1,75
262,54	65%	0,51	5,38	3,79	3,25	-	-	1,98
282,74	70%	0,57	5,98	3,85	4,61	-	-	2,25
302,93	75%	0,61	6,34	3,89	8,77	-	-	2,50
323,13	80%	0,67	6,71	3,95	-	-	-	2,84
343,32	85%	0,80	7,23	4,07	-	-	-	4,34
363,52	90%	1,50	8,10	4,39	-	-	-	11,25
383,71	95%	2,19	9,26	4,96	-	-	-	-
403,91	100%	3,31	10,45	5,34	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

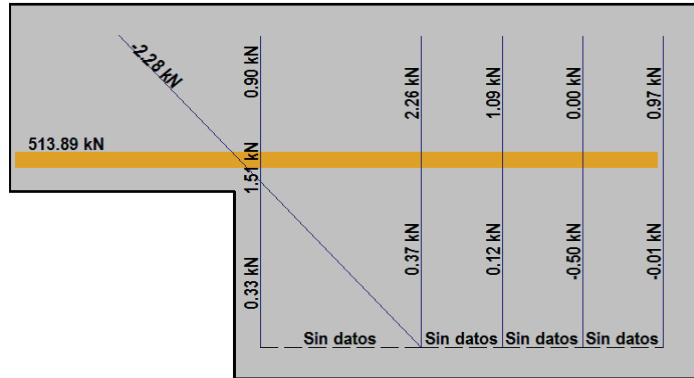
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	116,33	28,8%	0,10	1,98	3,64	0,36	-	-	0,19
Punto de cambio de rigidez	120,00	29,7%	0,17	2,10	3,64	0,86	-	-	0,45
Abertura de fisura 0,20 mm	128,54	31,8%	0,20	2,29	3,64	1,06	-	-	0,59
Abertura de fisura 0,40 mm	206,15	51,0%	0,40	3,99	3,71	2,12	-	-	1,37
Abertura de fisura 0,60 mm	294,66	73,0%	0,60	6,19	3,87	7,02	-	-	2,39
Abertura de fisura 0,80 mm	341,58	84,6%	0,80	7,18	4,06	-	-	-	3,98
Primera plastificación	233,05	57,7%	0,44	4,62	3,75	2,55	-	-	1,65

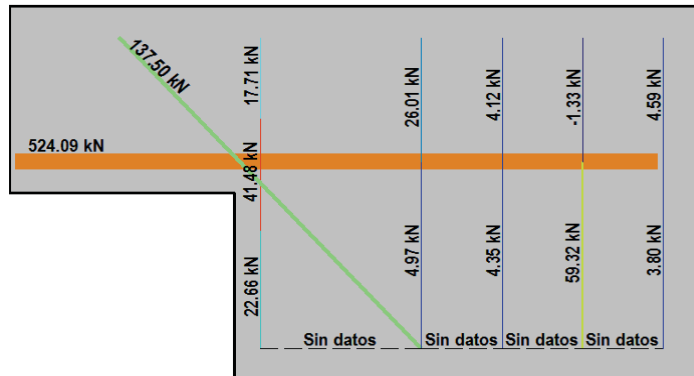
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

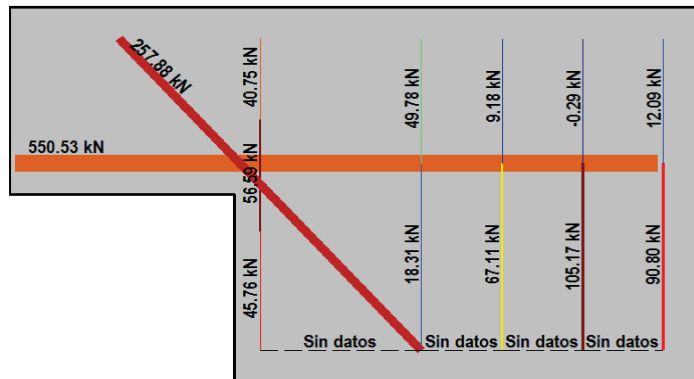
V (kN): 100,98
 V/V_{última}: **25%**
 w_m (mm): 0,02



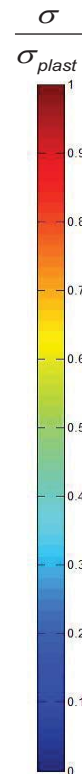
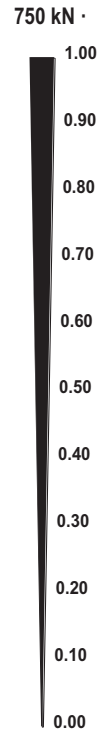
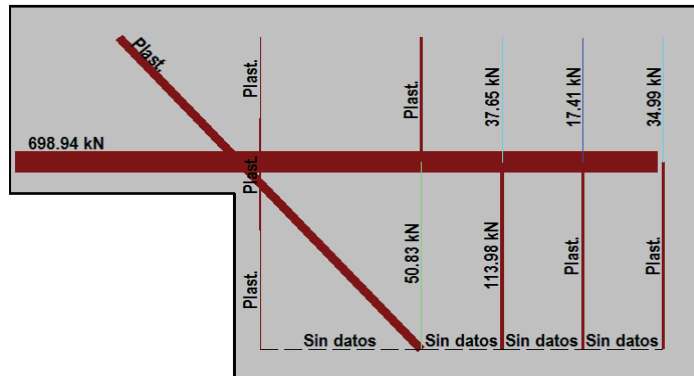
V (kN): 201,95
 V/V_{última}: **50%**
 w_m (mm): 0,38







V (kN): 302,93
 V/V_{última}: **75%**
 w_m (mm): 0,61




V (kN): 403,91
 V/V_{última}: **100%**
 w_m (mm): 3,31




   		FICHA: 53.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.12 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.2/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

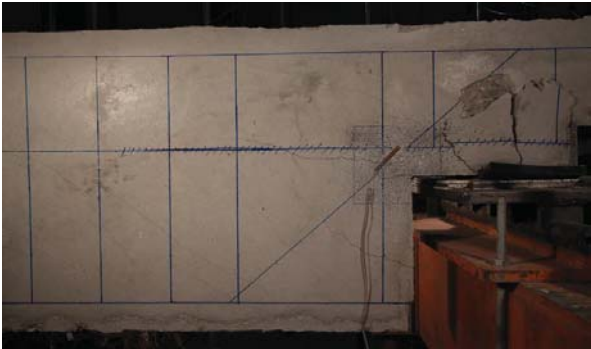
FISURACIÓN DEL APOYO A 90%·Vmax (CARA FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A 90%·Vmax (CARA DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A 90%·Vmax







VISTA GENERAL DE LA PIEZA: INSTANTE DE ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: Se produce un desconchamiento superficial sobre el neopreno del apoyo en la cara frontal, pero no afecta a la resistencia del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Tanto en la cara frontal como en la dorsal se producen dos fisuras paralelas, prácticamente horizontales. La fisura que parte de la esquina tiene una longitud reducida, pero es la que tiene claramente una mayor abertura en servicio.
 - En la rotura se generan una serie de fisuras que parten del apoyo y de la placa de anclaje cuya progresión lleva a producir el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical - 2º inclinado -3º horizontal, este último muy cerca de la rotura
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: Se produce una rotura muy frágil de elemento, el cual pierde totalmente su resistencia cuando colapsa. La rotura se produce de manera brusca cuando se produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Como se ha indicado se produce una rotura frágil del elemento con una pérdida total de la resistencia.

H.54 DEB-3.12 (T2)

				FICHA: 54.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-3.12 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.2/Ph		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/D.4.2/Ph
 Fecha horm.: 04/05/2012
 Fecha ensayo: 13/06/2012
 Edad (días): 40

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ15	Armado: 2φ8	Armado: 2φ16+1φ12
Área (cm ²): 7,07	Área (cm ²): 1,01	Área (cm ²): 5,15
α: 88%	β: 19%	γ: 85%
Rec. mecán. (mm): 40		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo Intermedio

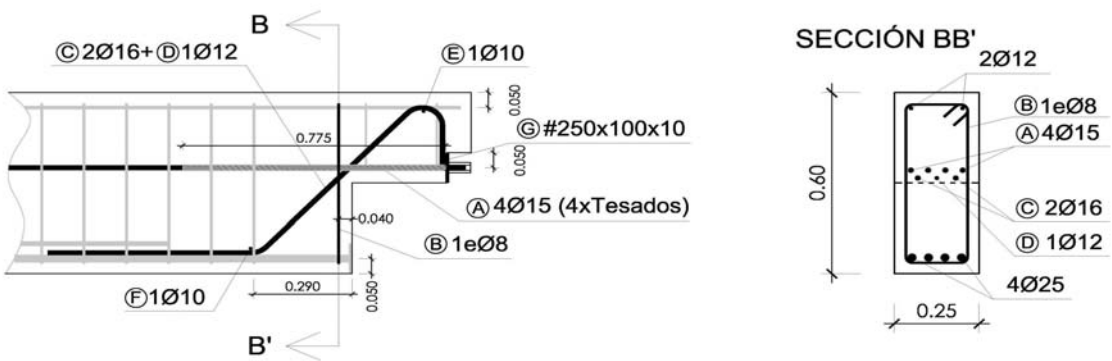
V última (kN): 413,28
 V (w=0,4 mm) (kN): 256,81 62%
 Modo de fallo: SY+SP (V-D)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
48,4	3,88	0,00%	- -

Fuerza de tesado (kN): 455,7

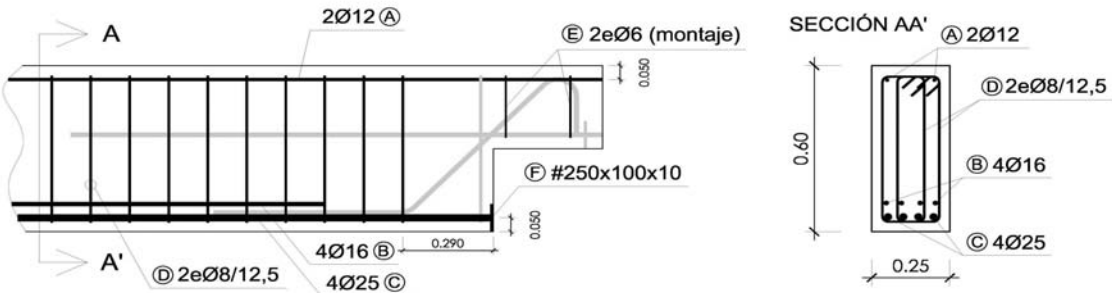
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



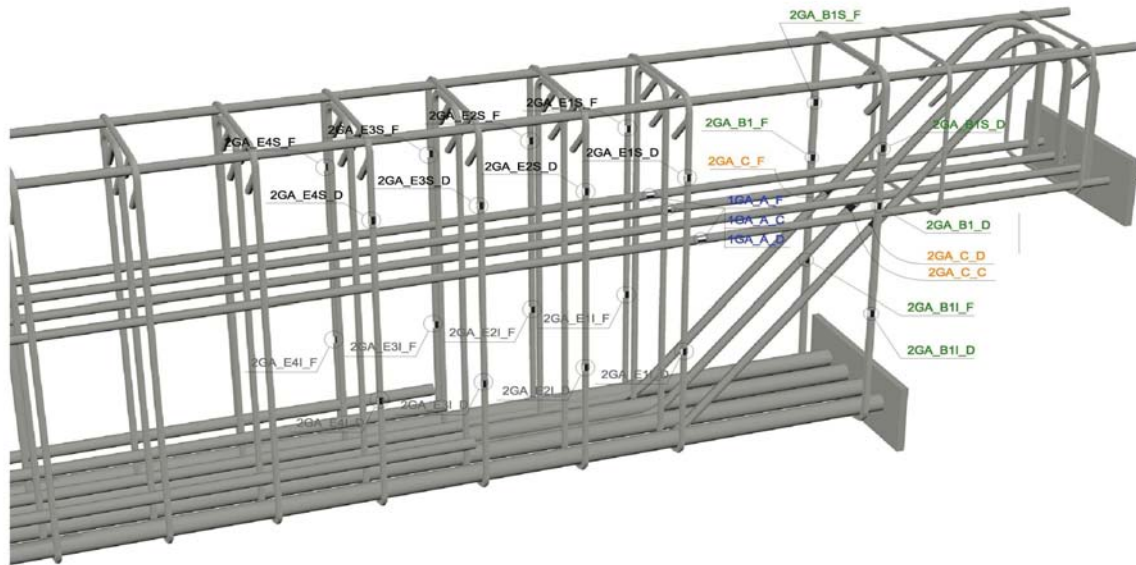
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.2/Ph
AUTOR:	Jaime Mata Falcón

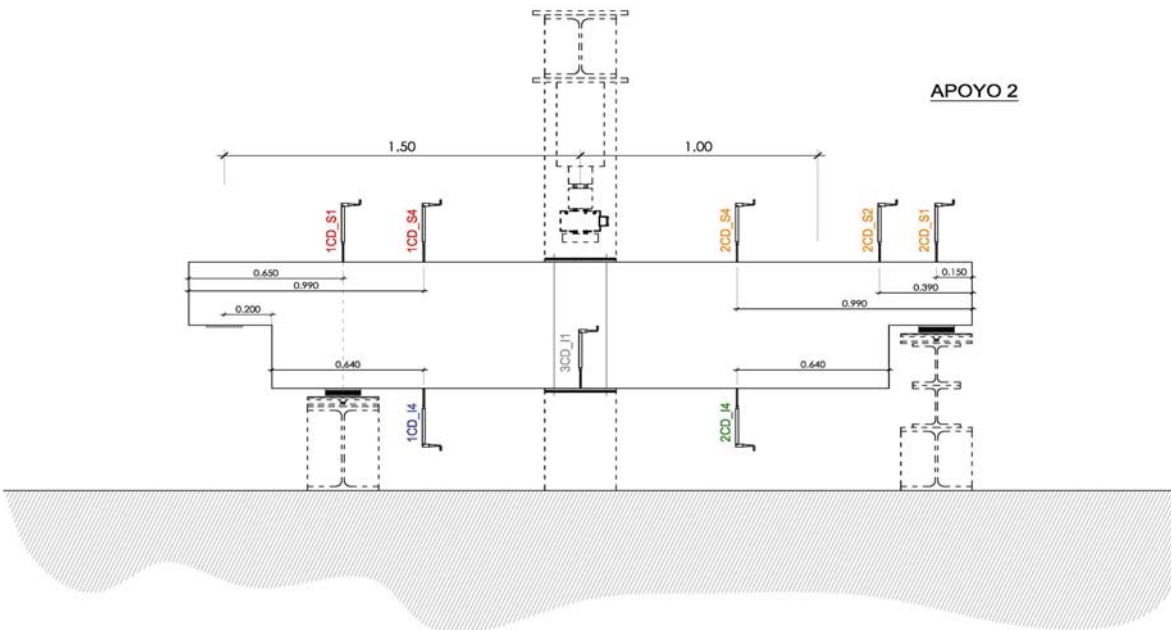
ENSAYO: **DEB-3.12 (T2)**

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



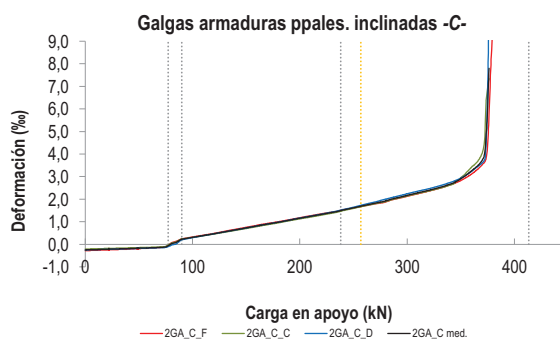
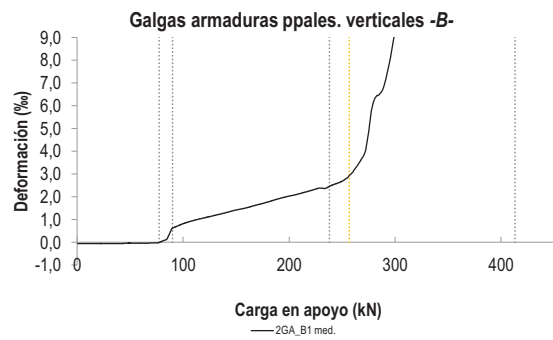
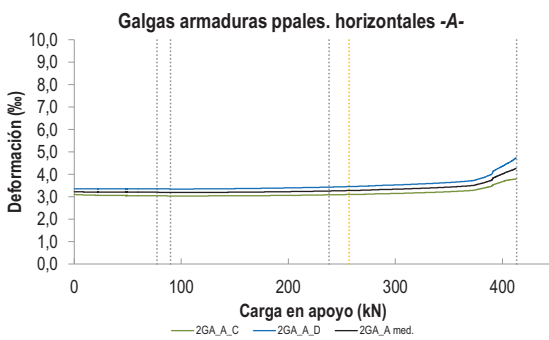
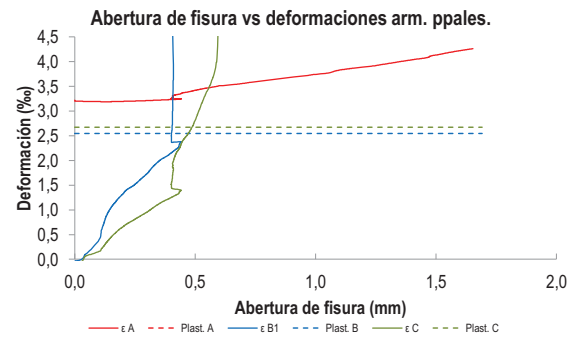
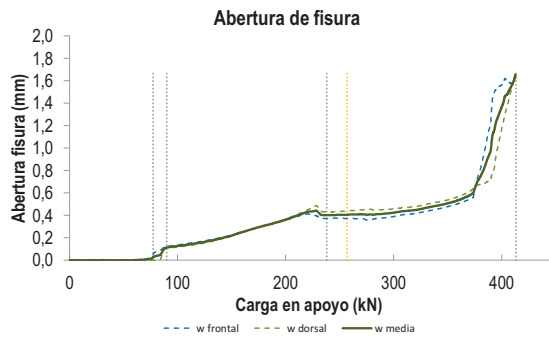
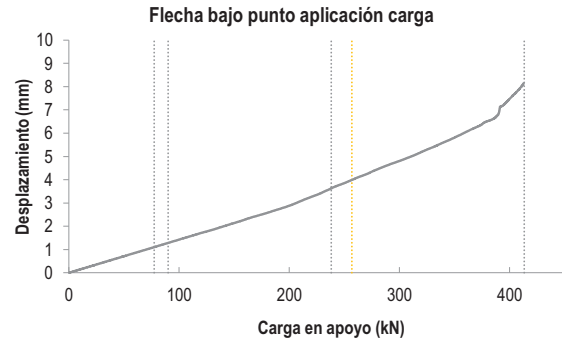
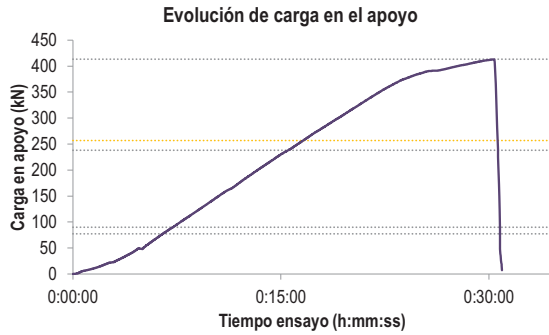
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 54.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.12 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.2/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

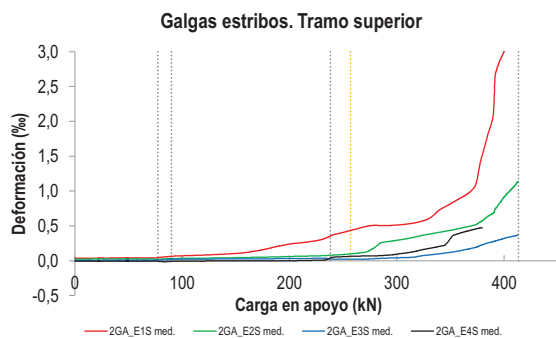
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

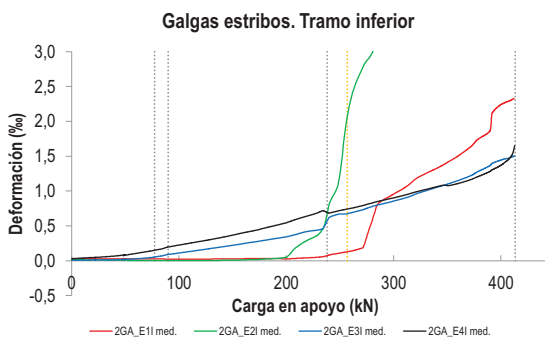


   		FICHA: 54.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.12 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/D.4.2/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

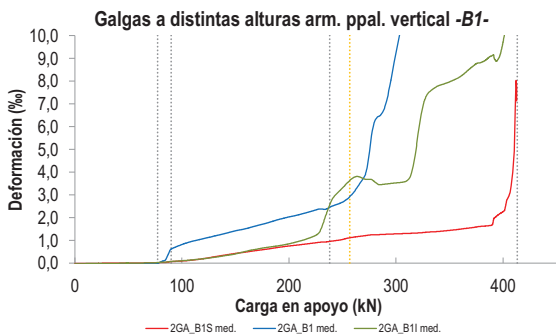
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA DISPONE UN ÚNICO PLANO DE ARMADURA EN EL TIRANTE VERTICAL -B-

LA PIEZA ENSAYADA NO ARMADURAS VERTICALES U HORIZONTALES SECUNDARIAS SOBRE EL APOYO

   		FICHA: 54.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-3.12 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.2/Ph	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	3,22	-0,06	-	-	-0,25
20,66	5%	0,00	0,29	3,20	-0,06	-	-	-0,22
41,33	10%	0,00	0,59	3,20	-0,05	-	-	-0,19
61,99	15%	0,00	0,89	3,20	-0,04	-	-	-0,15
82,66	20%	0,04	1,18	3,20	0,09	-	-	0,06
103,32	25%	0,13	1,47	3,19	0,87	-	-	0,33
123,98	30%	0,16	1,76	3,19	1,12	-	-	0,50
144,65	35%	0,21	2,06	3,20	1,35	-	-	0,68
165,31	40%	0,27	2,37	3,21	1,58	-	-	0,86
185,98	45%	0,32	2,67	3,22	1,86	-	-	1,03
206,64	50%	0,38	3,00	3,23	2,10	-	-	1,21
227,30	55%	0,43	3,40	3,24	2,36	-	-	1,39
247,97	60%	0,40	3,82	3,26	2,65	-	-	1,60
268,63	65%	0,41	4,22	3,29	3,73	-	-	1,81
289,29	70%	0,41	4,62	3,32	6,97	-	-	2,05
309,96	75%	0,44	4,98	3,35	10,57	-	-	2,28
330,62	80%	0,47	5,40	3,39	-	-	-	2,53
351,29	85%	0,51	5,84	3,43	-	-	-	2,95
371,95	90%	0,62	6,33	3,51	-	-	-	4,52
392,61	95%	1,13	7,08	3,84	-	-	-	-
413,28	100%	1,57	7,93	4,19	-	-	-	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

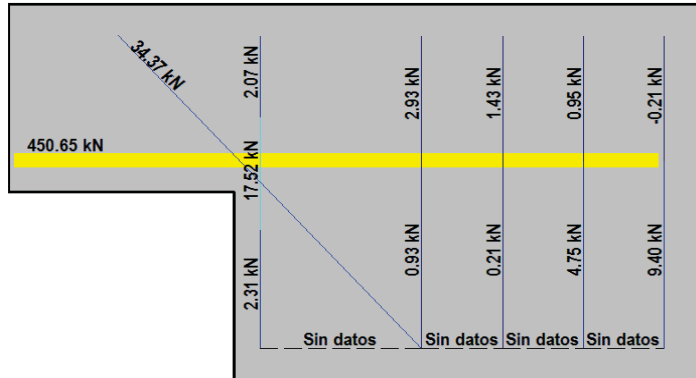
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	77,33	18,7%	0,02	1,10	3,20	-0,01	-	-	-0,06
Punto de cambio de rigidez	90,00	21,8%	0,11	1,28	3,19	0,60	-	-	0,22
Abertura de fisura 0,20 mm	141,82	34,3%	0,20	2,02	3,20	1,32	-	-	0,65
Abertura de fisura 0,40 mm	256,81	62,1%	0,40	3,99	3,27	2,93	-	-	1,69
Abertura de fisura 0,60 mm	368,98	89,3%	0,60	6,26	3,49	-	-	-	4,32
Abertura de fisura 0,80 mm	382,68	92,6%	0,80	6,59	3,63	-	-	-	7,00
Primera plastificación	238,08	57,6%	0,40	3,62	3,25	2,45	-	-	1,49

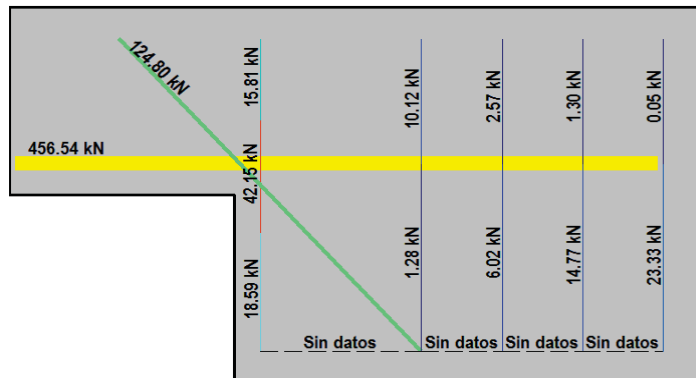
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

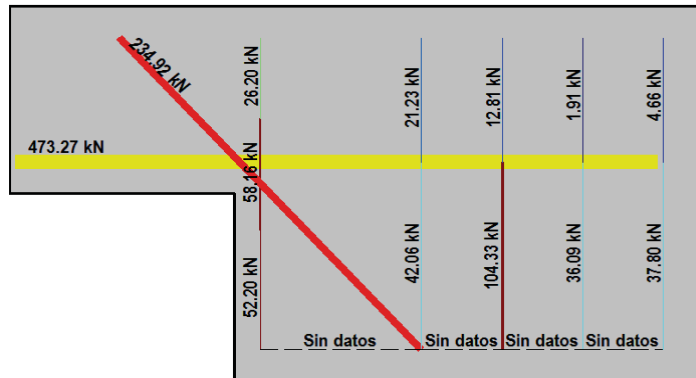
V (kN): 103,32
 V/V_{última}: **25%**
 w_m (mm): 0,13



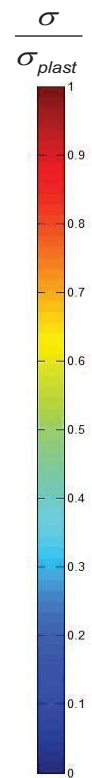
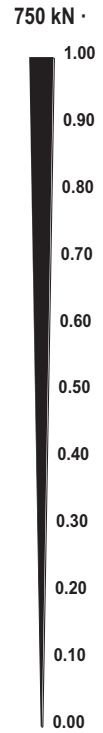
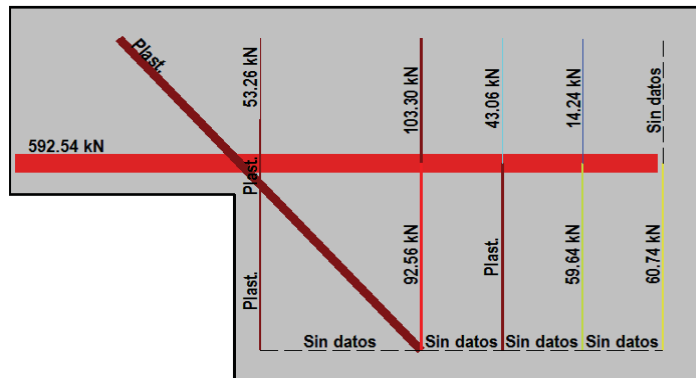
V (kN): 206,64
 V/V_{última}: **50%**
 w_m (mm): 0,38






V (kN): 309,96
 V/V_{última}: **75%**
 w_m (mm): 0,44




V (kN): 413,28
 V/V_{última}: **100%**
 w_m (mm): 1,57




						FICHA: 54.7
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO:	DEB-3.12 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/D.4.2/Ph	AUTOR:		Jaime Mata Falcón		

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

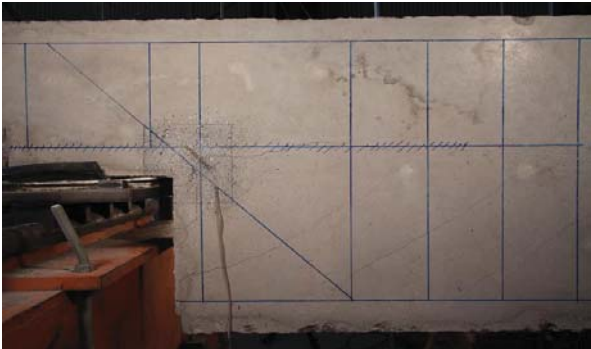
FISURACIÓN DEL APOYO A 90%·Vmax (CARA FRONTAL)



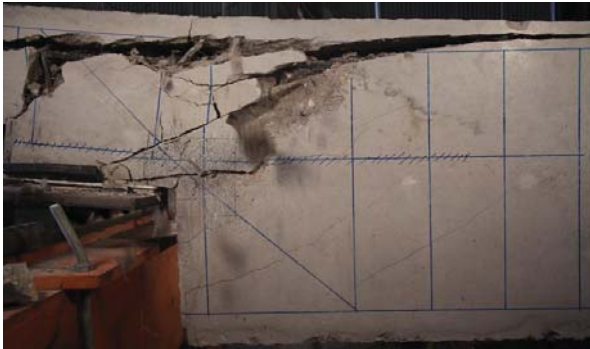
FISURACIÓN DEL APOYO A 90%·Vmax (CARA DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA AL 90%·Vmax







VISTA GENERAL DE LA PIEZA: INSTANTE DE ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Las fisuras generadas en el entorno de la esquina son las que tienen claramente una mayor abertura en servicio.
 - Se generan tanto en la cara dorsal como en la frontal dos fisuras prácticamente horizontales.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura desde el borde del apoyo que va a buscar el primer estribo de cortante de la viga. Esta fisura genera el levantamiento del recubrimiento superior de la viga.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican los siguientes tirantes principales: 1º/ vertical - 2º/ inclinado. No se registra la plastificación del tirante horizontal, pero en el instante de rotura prácticamente se alcanza la tensión de plastificación, por lo que se puede concluir que la plastificación de la armadura lleva a la rotura del elemento.
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de fisuras que se juntan a la altura de la armadura superior y producen el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Se produce una rotura frágil de la pieza, produciéndose una pérdida total de la resistencia tras la rotura.

H.55 DEB-4.1 (T1)

				FICHA: 55.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-4.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/B+SR1
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 29/12/2011
 Edad (días): 27

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

V última (kN):	f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras
V (w=0,4 mm): 258,22	33,3	3,19	0,00%
V (w=0,4 mm): 119,86			
Modo de fallo: SY (V1-H)			

Variante 1: Biselado
 Variante 2: Arm. sec. conc.

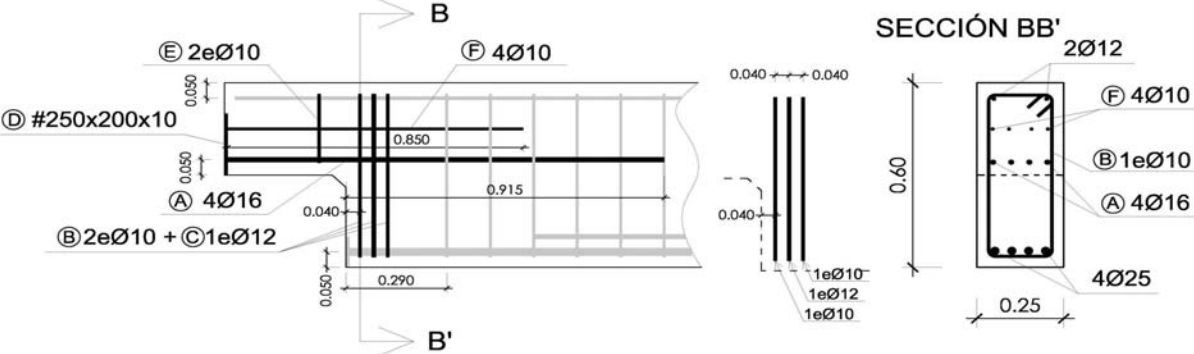
Rec. mecán. (mm): 80

Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
 Arm. sec. horiz. y vertical sobre el apoyo concentrada

f_c (Mpa): 33,3 f_{ct} (Mpa): 3,19 Vol. Fibras: 0,00% f_{1,R} (Mpa): - f_{3,R} (Mpa): -

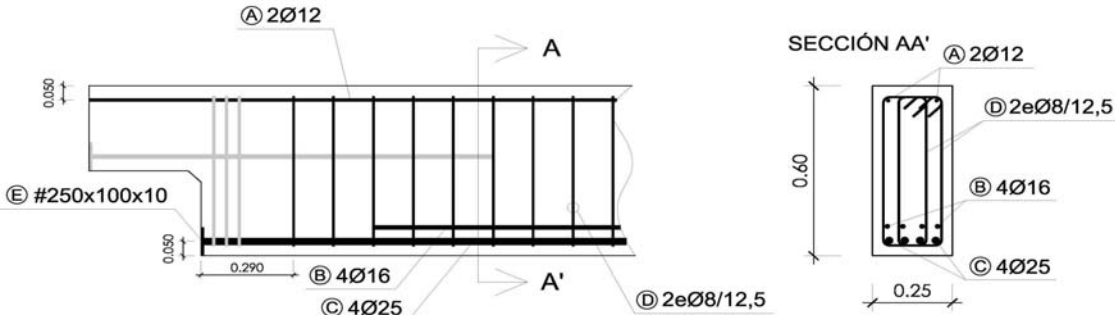
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

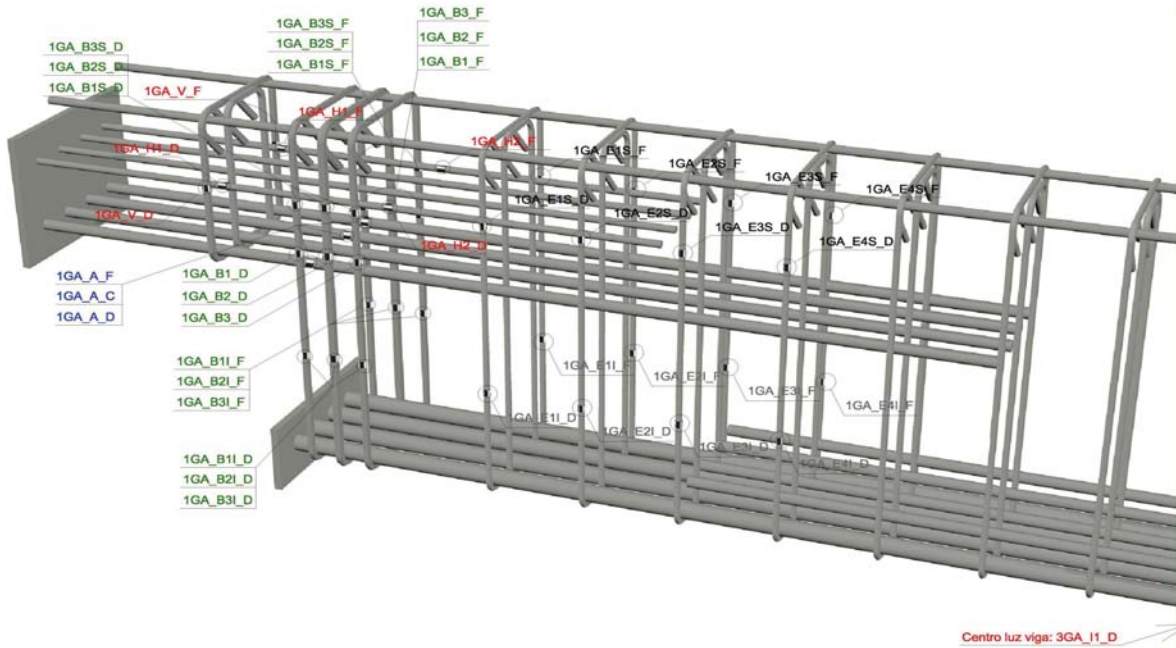
B2.- ARMADO DE LA VIGA



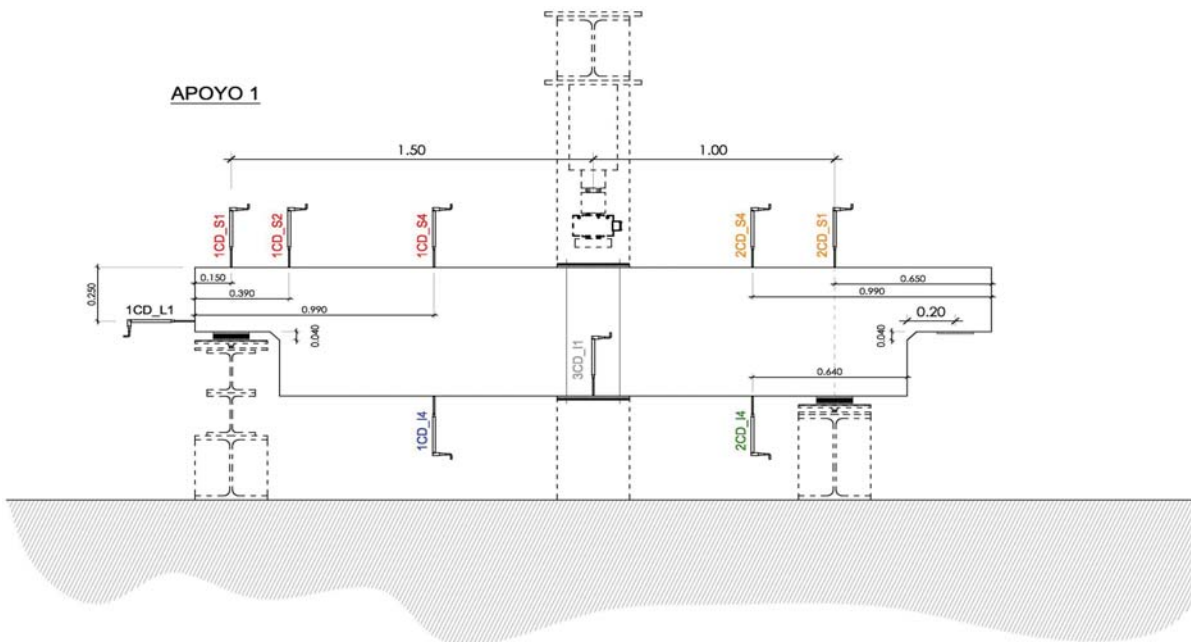
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



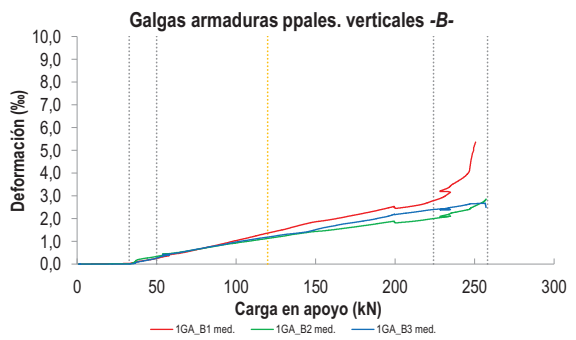
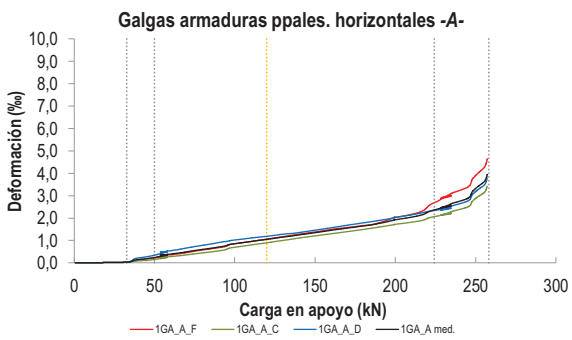
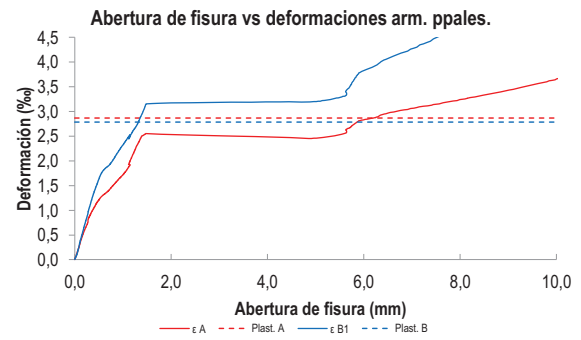
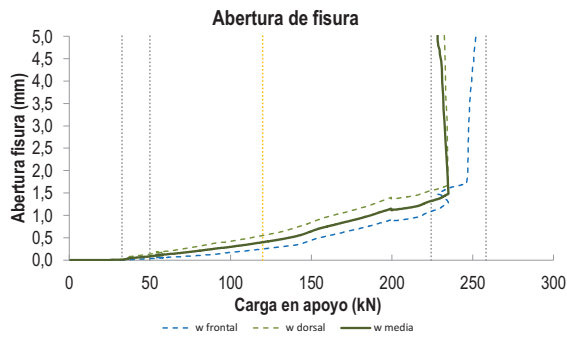
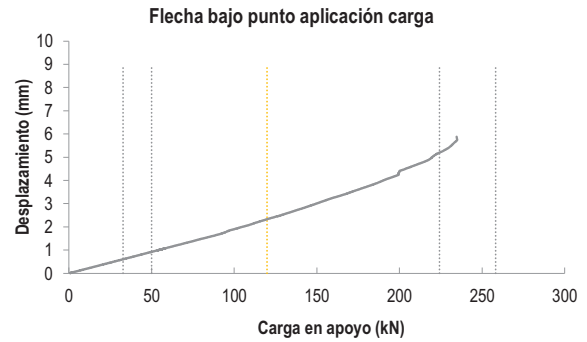
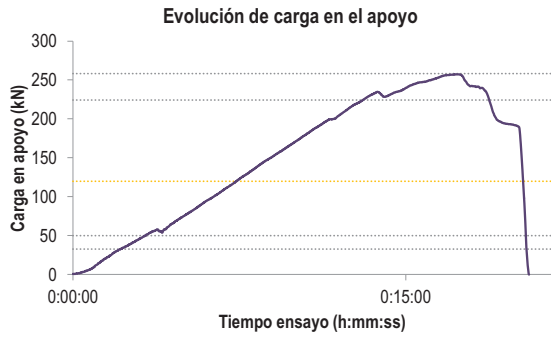
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 55.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.1 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

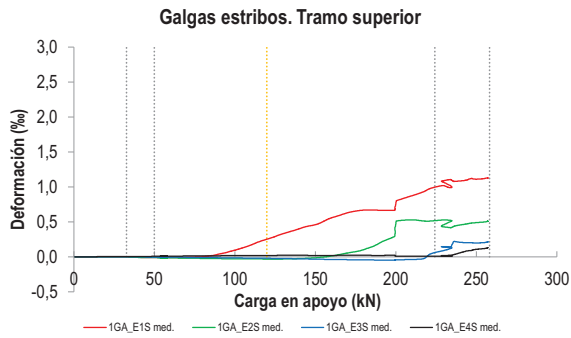
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES

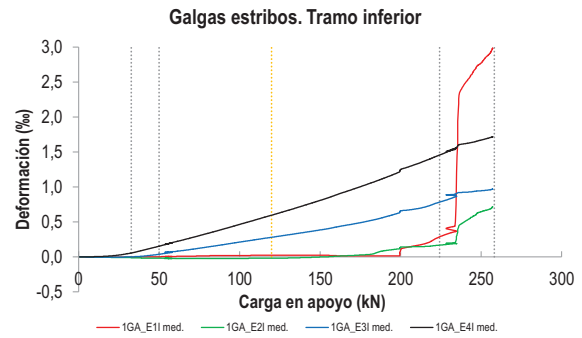


LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

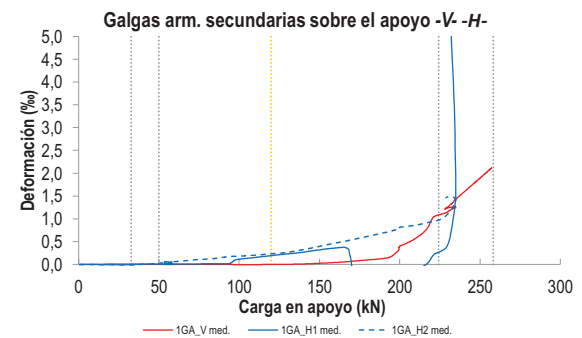
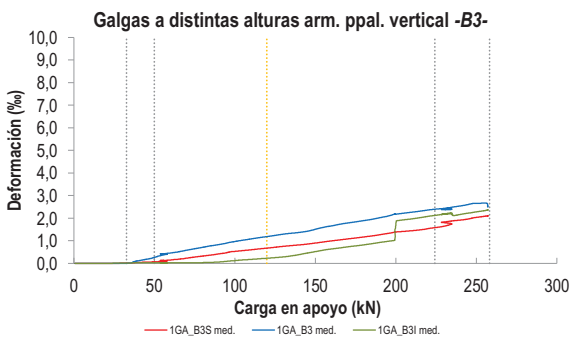
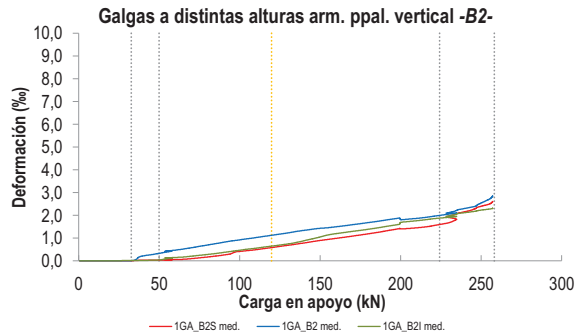
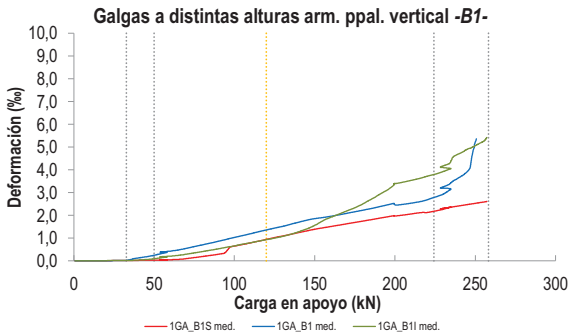
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



   		FICHA: 55.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.1 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
12,91	5%	0,00	0,24	0,01	0,01	0,00	0,00	-
25,82	10%	0,00	0,48	0,02	0,01	0,01	0,00	-
38,73	15%	0,05	0,72	0,14	0,12	0,20	0,10	-
51,64	20%	0,09	0,96	0,26	0,28	0,35	0,30	-
64,55	25%	0,14	1,20	0,44	0,48	0,52	0,51	-
77,47	30%	0,20	1,43	0,58	0,67	0,67	0,68	-
90,38	35%	0,26	1,67	0,71	0,87	0,82	0,83	-
103,29	40%	0,31	1,97	0,89	1,08	0,96	1,01	-
116,20	45%	0,38	2,25	1,01	1,30	1,09	1,15	-
129,11	50%	0,45	2,52	1,14	1,50	1,22	1,28	-
142,02	55%	0,55	2,82	1,27	1,74	1,36	1,39	-
154,93	60%	0,70	3,13	1,40	1,90	1,46	1,59	-
167,84	65%	0,82	3,42	1,53	2,06	1,57	1,76	-
180,75	70%	0,94	3,74	1,66	2,24	1,69	1,90	-
193,66	75%	1,08	4,09	1,82	2,43	1,82	2,07	-
206,57	80%	1,15	4,58	2,00	2,50	1,85	2,24	-
219,48	85%	1,26	4,99	2,24	2,68	1,95	2,36	-
232,40	90%	3,90	5,53	2,54	3,21	2,13	2,43	-
245,31	95%	6,86	-	3,01	4,25	2,42	2,62	-
258,22	100%	12,53	-	3,74	-	2,76	2,64	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

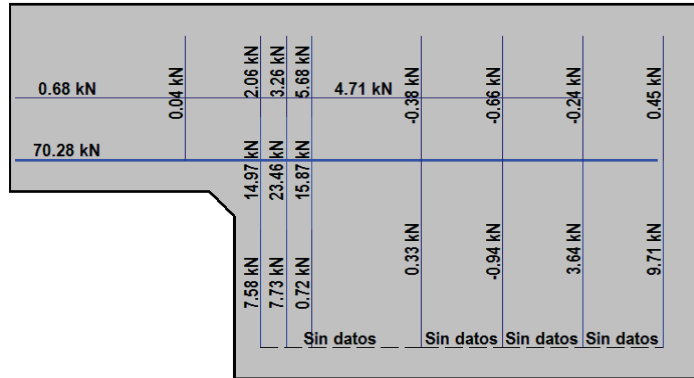
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	32,73	12,7%	0,00	0,60	0,03	0,03	0,01	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	50,00	19,4%	0,08	0,92	0,24	0,25	0,33	0,26	-
Abertura de fisura 0,20 mm	78,29	30,3%	0,20	1,45	0,59	0,68	0,68	0,69	-
Abertura de fisura 0,40 mm	119,86	46,4%	0,40	2,33	1,05	1,36	1,12	1,18	-
Abertura de fisura 0,60 mm	146,33	56,7%	0,60	2,92	1,31	1,81	1,40	1,44	-
Abertura de fisura 0,80 mm	165,28	64,0%	0,80	3,37	1,51	2,03	1,55	1,73	-
Primera plastificación	224,23	86,8%	2,09	5,18	2,37	2,86	2,01	2,39	-

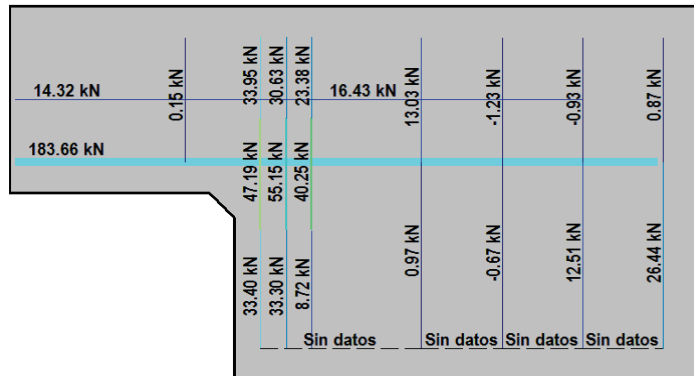
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

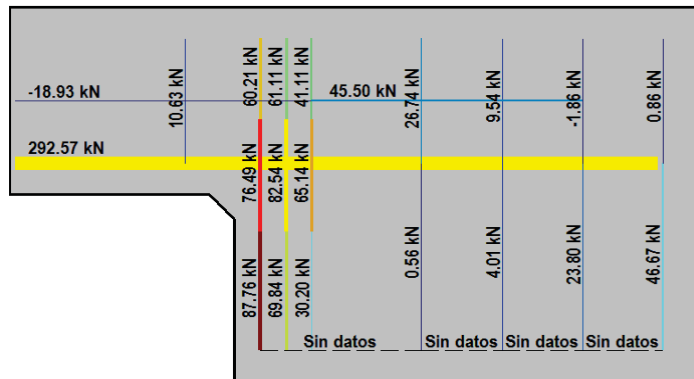
V (kN): 64,55
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,14



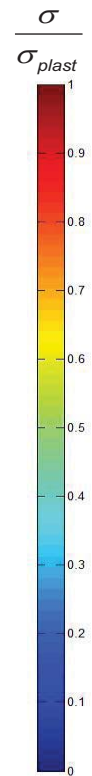
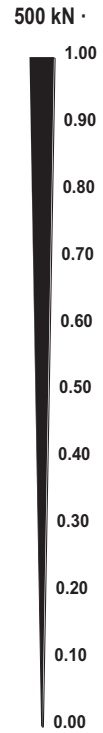
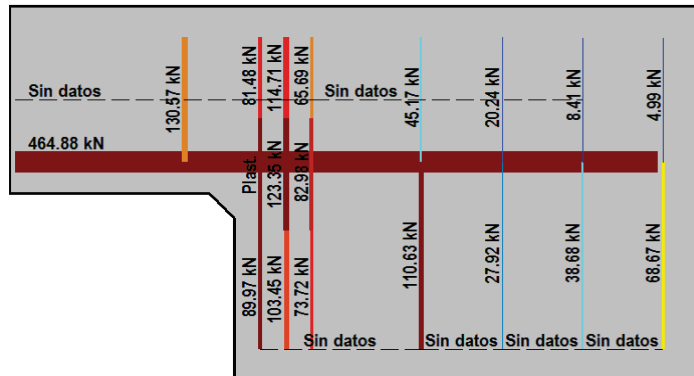
V (kN): 129,11
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,45







V (kN): 193,66
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,08




V (kN): 258,22
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 12,53




 		 		FICHA: 55.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-4.1 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - De los dos vértices del bisel parten sendas fisuras. Las fisuras que parten desde la esquina inferior aparecen a una carga inferior y son las que mandan la fisuración en servicio. Ya cerca de la carga máxima se abren mucho y dan la abertura de fisura máxima las fisuras que parten del vértice superior.
 - Las fisuras inferiores arrancan con una inclinación de unos 30° respecto a la horizontal, mientras que las fisuras superiores tienen una inclinación de unos 45°.
 - Cerca de la rotura aparece una fisura desde el vértice del apoyo que se junta con la fisura que parte del vértice superior del bisel.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. El orden de plastificación es el siguiente: 1º/ vertical (1er plano) - 2º/ horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del vértice del apoyo, que produce el levantamiento del recubrimiento superior de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La carga se estabiliza tras bajar un 25% después de alcanzar la carga máxima.

H.56 DEB-4.1 (T2)

				FICHA: 56.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-4.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/B+SR1
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 29/12/2011
 Edad (días): 27

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

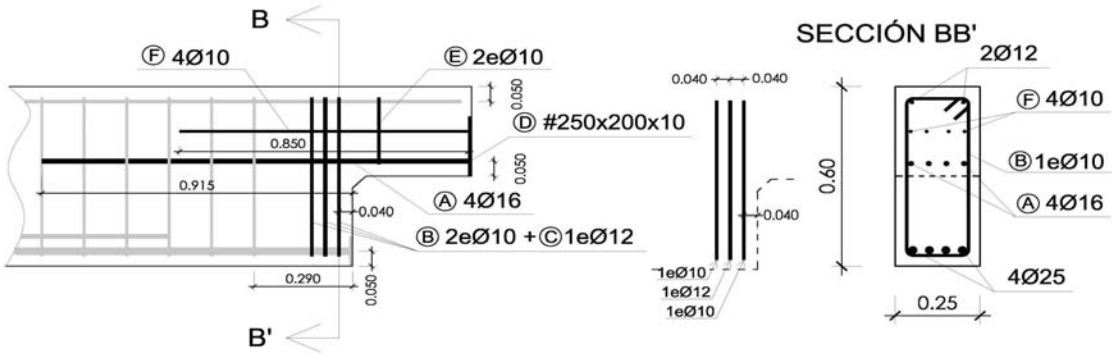
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

V última (kN): 272,87
 V (w=0,4 mm) (kN): 90,59 33%
 Modo de fallo: SY (V1-V2-H)

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa) f _{3,R} (Mpa)
33,3	3,19	0,00%	- -

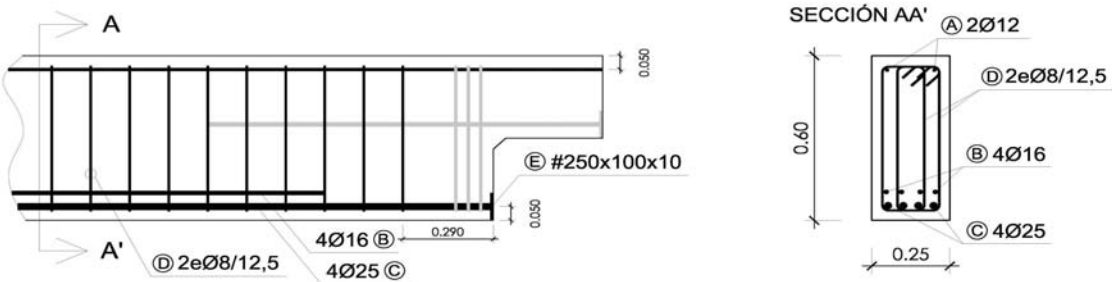
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

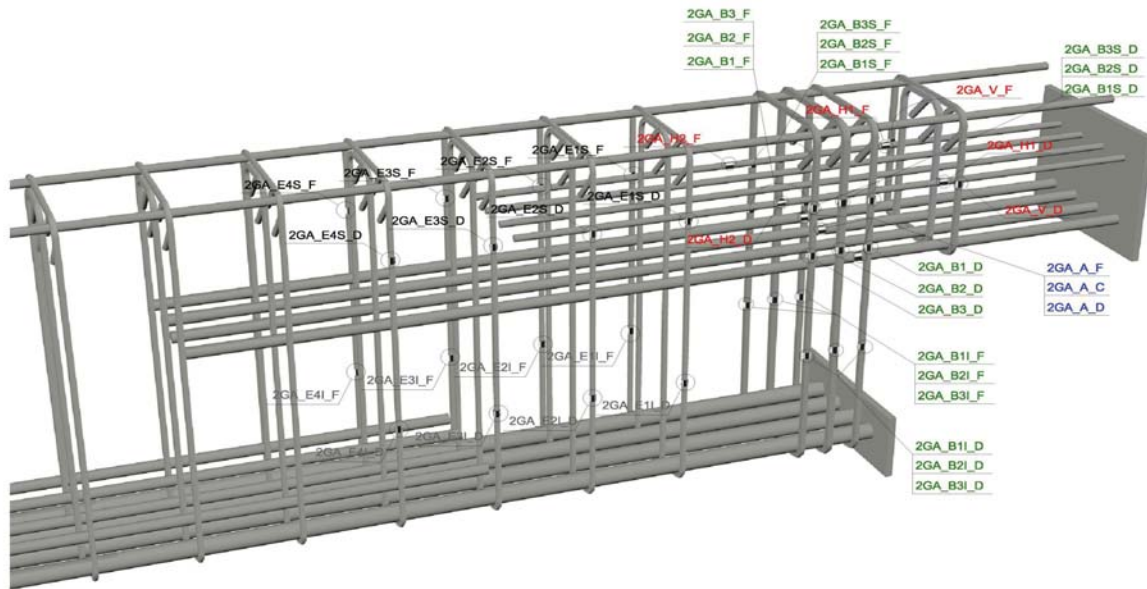
B2.- ARMADO DE LA VIGA



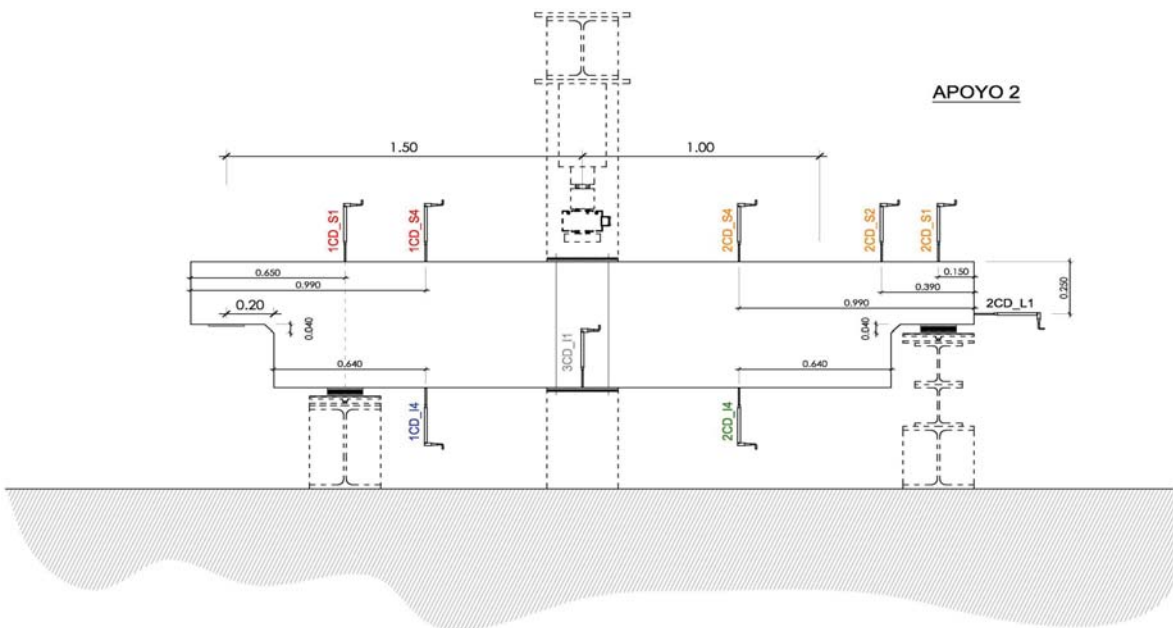
- Recubrimientos laterales = 3 cm
 - Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
 - Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



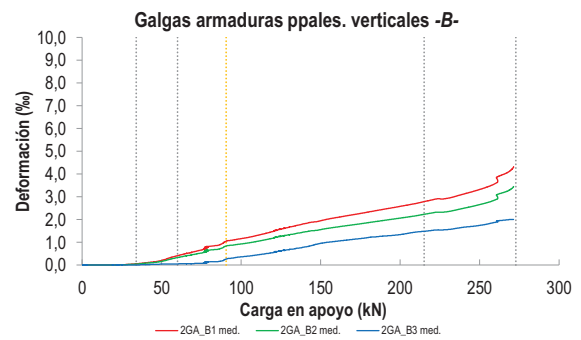
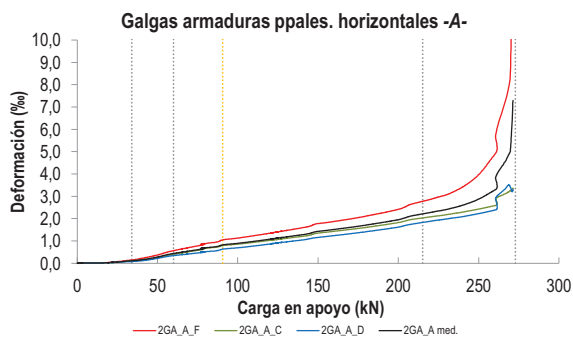
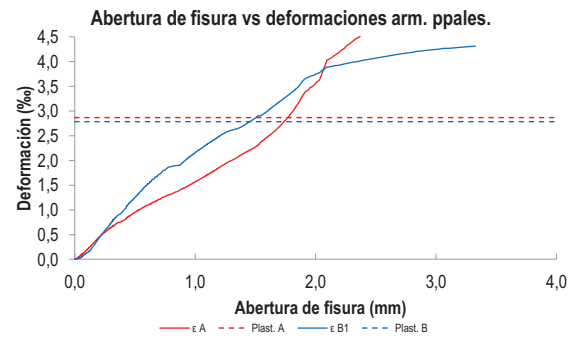
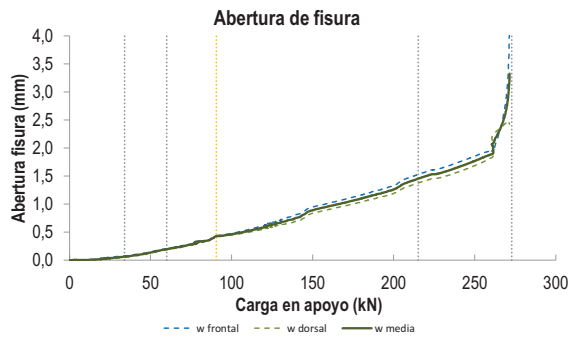
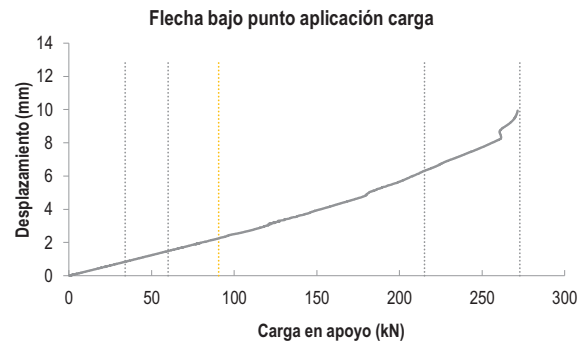
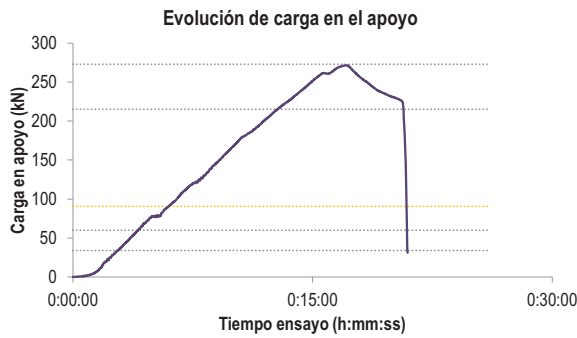
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 56.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

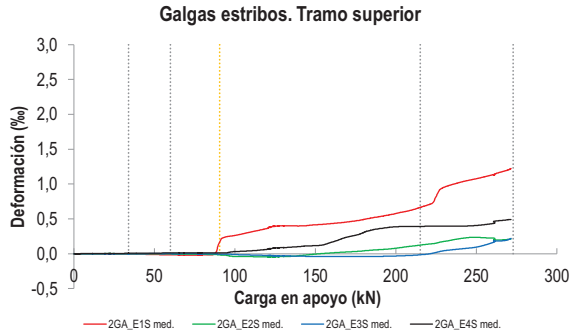
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



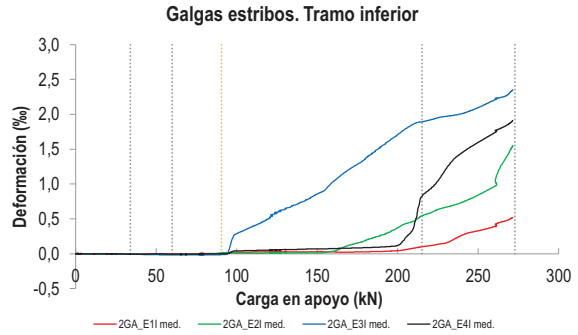
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

   		FICHA: 56.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.1 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

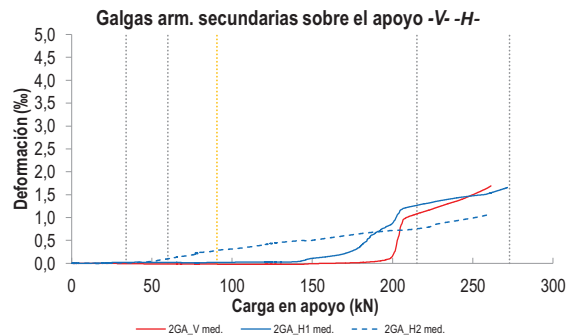
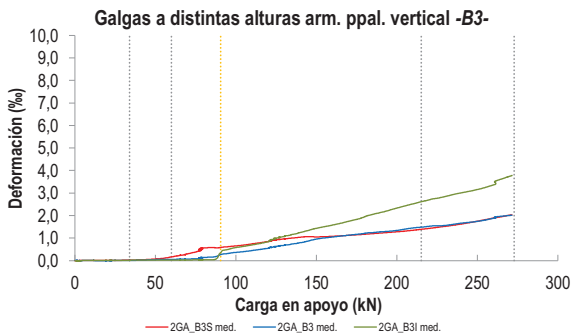
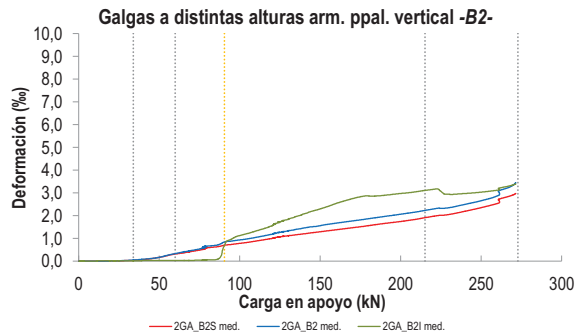
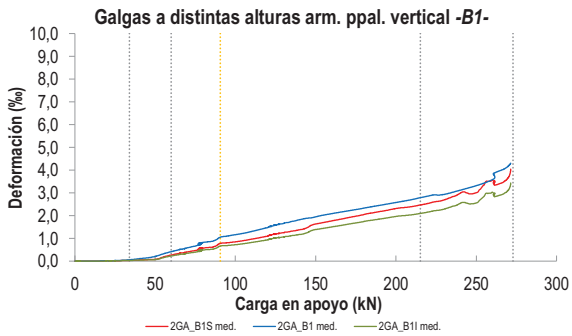
D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



   		FICHA: 56.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p100/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

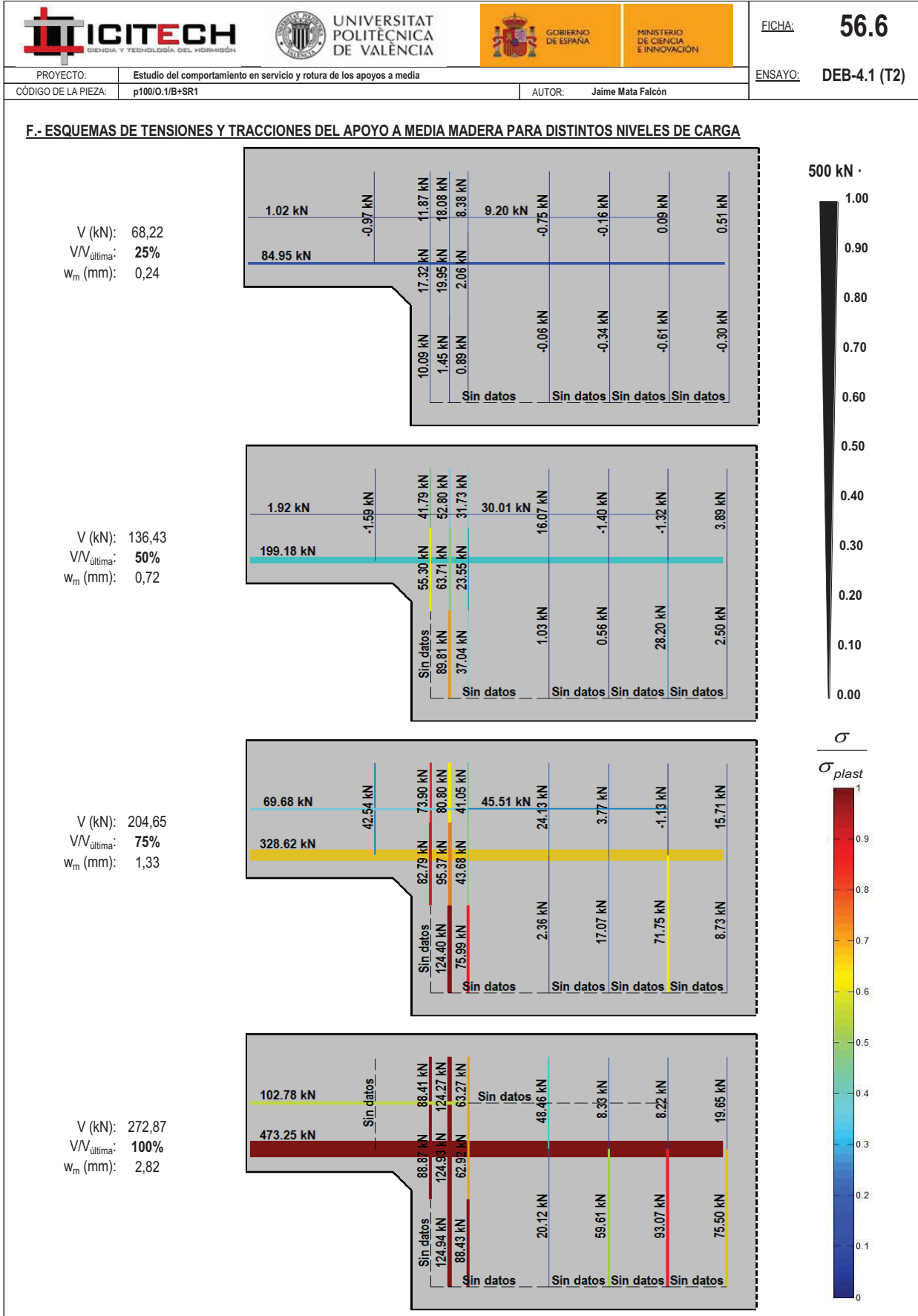
Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
13,64	5%	0,00	0,34	0,01	0,00	0,00	0,00	-
27,29	10%	0,04	0,68	0,06	0,03	0,02	0,00	-
40,93	15%	0,09	1,02	0,16	0,11	0,09	0,02	-
54,57	20%	0,17	1,35	0,36	0,31	0,24	0,05	-
68,22	25%	0,24	1,70	0,53	0,55	0,44	0,07	-
81,86	30%	0,34	2,05	0,71	0,84	0,67	0,15	-
95,50	35%	0,44	2,39	0,86	1,11	0,89	0,32	-
109,15	40%	0,51	2,71	0,97	1,29	1,03	0,44	-
122,79	45%	0,61	3,13	1,10	1,53	1,22	0,59	-
136,43	50%	0,72	3,53	1,24	1,76	1,41	0,75	-
150,08	55%	0,89	3,94	1,42	1,95	1,56	0,95	-
163,72	60%	0,99	4,33	1,55	2,13	1,71	1,08	-
177,36	65%	1,09	4,79	1,69	2,30	1,84	1,19	-
191,01	70%	1,19	5,35	1,83	2,47	1,97	1,28	-
204,65	75%	1,33	5,85	2,04	2,64	2,11	1,39	-
218,29	80%	1,49	6,44	2,25	2,84	2,27	1,51	-
231,94	85%	1,58	7,02	2,44	2,97	2,37	1,58	-
245,58	90%	1,72	7,54	2,73	3,22	2,58	1,70	-
259,22	95%	1,98	8,42	3,56	3,70	2,96	1,90	-
272,87	100%	2,82	9,57	5,71	4,19	3,35	2,00	-





 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	34,00	12,5%	0,00	0,85	0,11	0,06	0,05	0,01	-
Punto de cambio de rigidez	60,00	22,0%	0,20	1,49	0,43	0,41	0,33	0,05	-
Abertura de fisura 0,20 mm	60,61	22,2%	0,20	1,51	0,44	0,43	0,34	0,06	-
Abertura de fisura 0,40 mm	90,59	33,2%	0,40	2,25	0,81	1,04	0,83	0,26	-
Abertura de fisura 0,60 mm	120,75	44,3%	0,60	3,07	1,08	1,50	1,20	0,56	-
Abertura de fisura 0,80 mm	142,73	52,3%	0,80	3,70	1,31	1,86	1,49	0,83	-
Primera plastificación	215,17	78,9%	1,45	6,31	2,21	2,79	2,23	1,48	-


 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas




 		 		FICHA: 56.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-4.1 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - De los dos vértices del bisel se genera únicamente una fisura partiendo del vértice superior. Por debajo del vértice inferior se genera otra fisura, con una abertura en todo momento inferior a la que se genera desde el vértice superior del bisel.
 - La fisura superior del bisel arranca con una inclinación de unos 45°, para acabar dividiéndose al encontrarse con los distintos planos de las armaduras verticales.
 - Cerca de la carga máxima se genera una fisura que parte del borde del apoyo y que con una inclinación de unos 45° llega al encuentro de las armaduras principales verticales con la armadura superior de la viga.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Orden de plastificación de tirantes principales: 1º/ vertical (1er plano) - 2º/ vertical (2º plano) - 3º/ horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo al alcanzar la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: La carga no se estabiliza tras alcanzar su valor máximo sino que cae de manera continua.

H.57 DEB-4.2 (T1)

				FICHA: 57.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	AUTOR: Jaime Mata Falcón			ENSAYO: DEB-4.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2				

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/B+SR2
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 05/01/2012
 Edad (días): 34

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

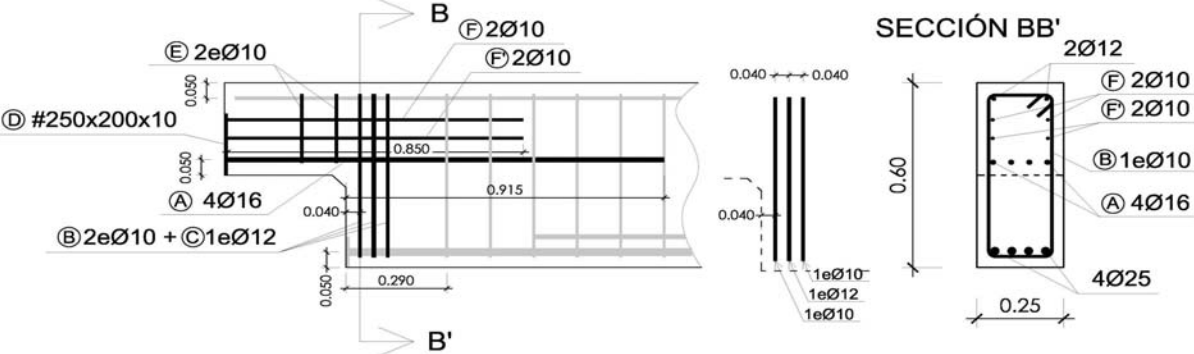
V última (kN): 268,59
 V (w=0,4 mm) (kN): 76,74 29%
 Modo de fallo: SY (V1-V2-H-V3)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
Variante 2:	Arm. sec. distr.	Armadura secundaria horizontal y vertical sobre el apoyo distrib.

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
35,2	3,05	0,00%	-	-

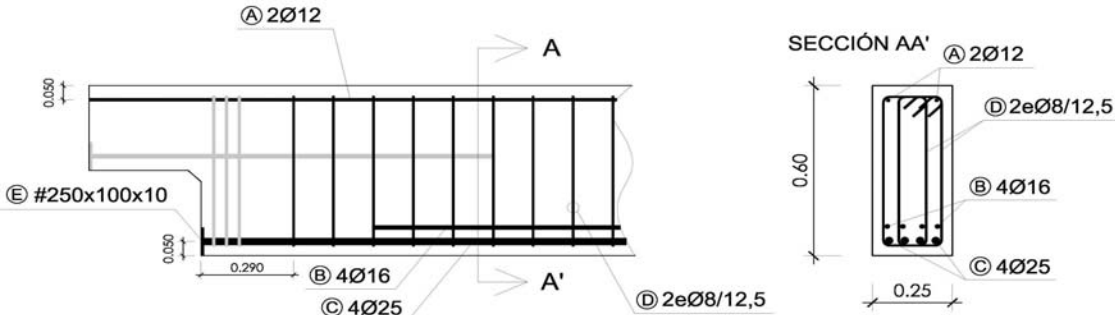
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

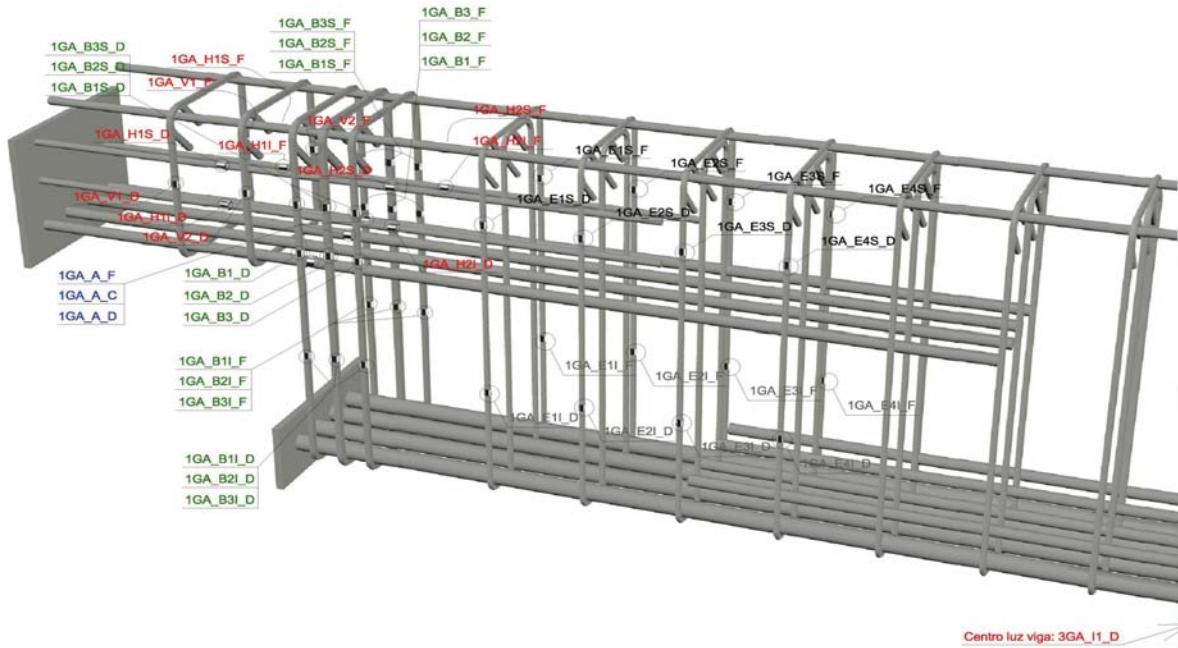
B2.- ARMADO DE LA VIGA



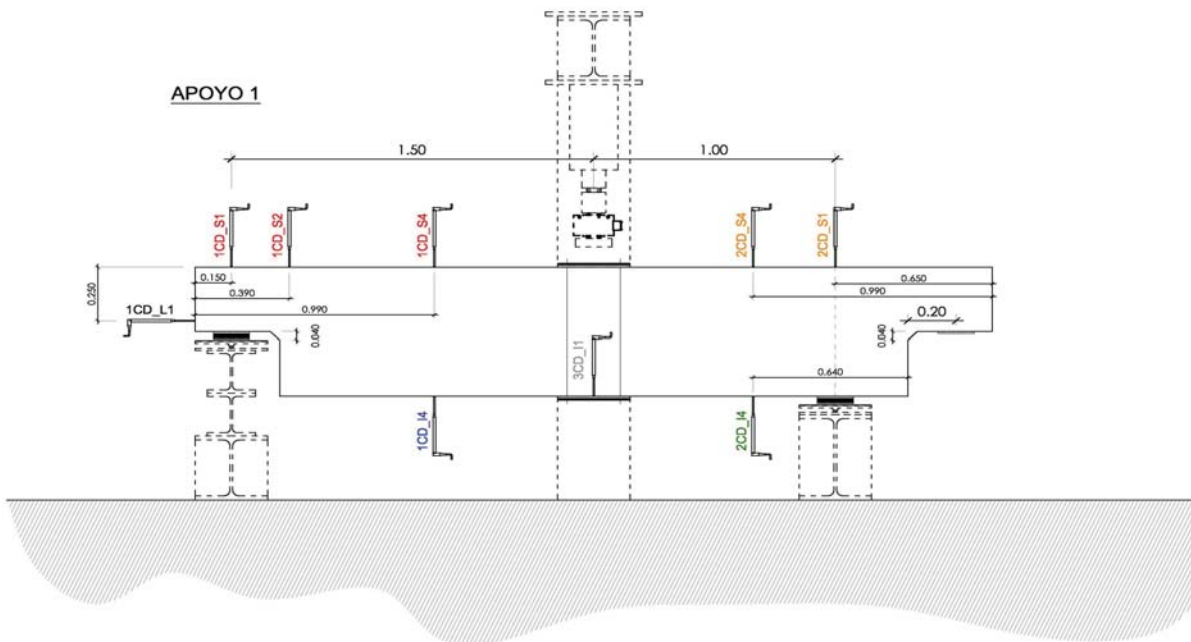
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



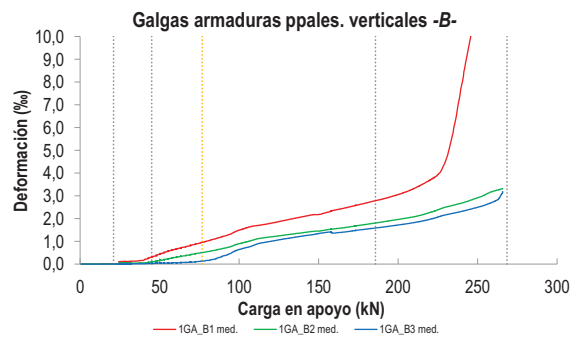
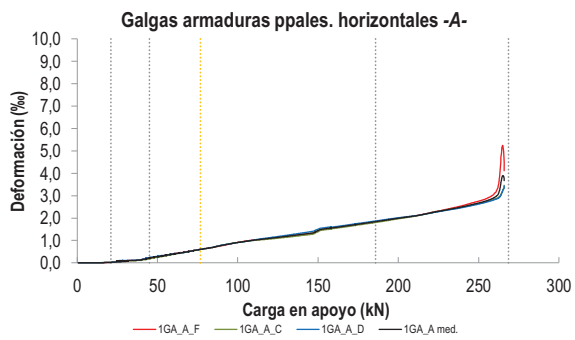
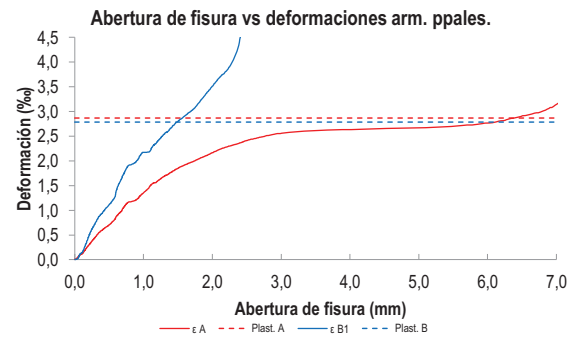
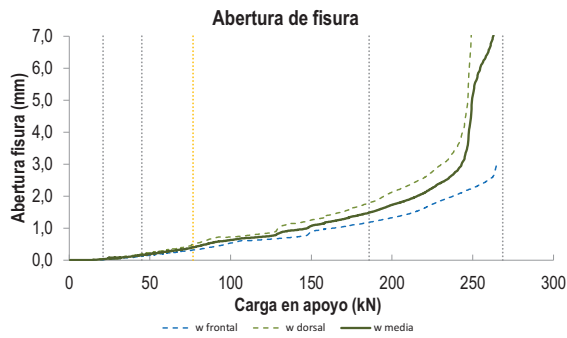
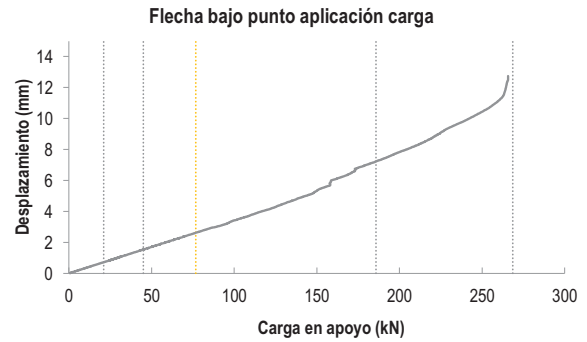
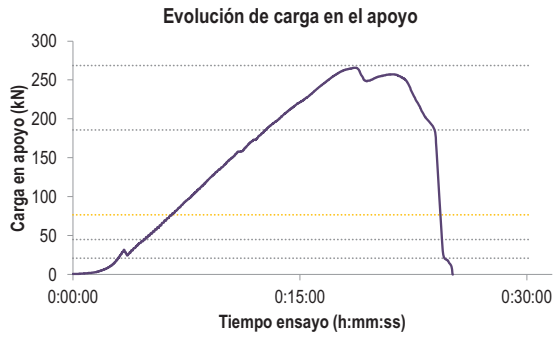
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 57.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.2 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

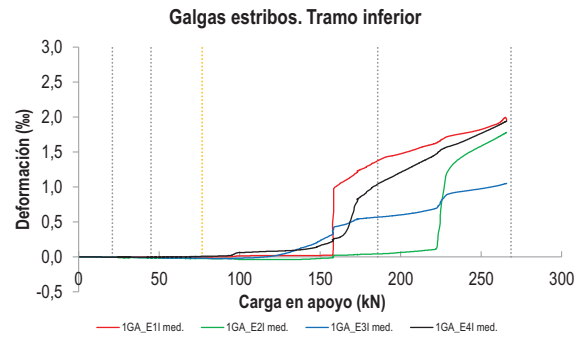
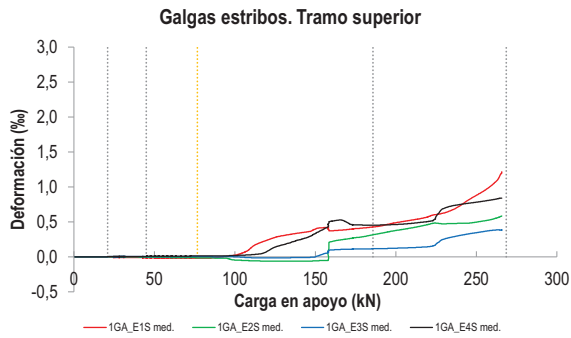
D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



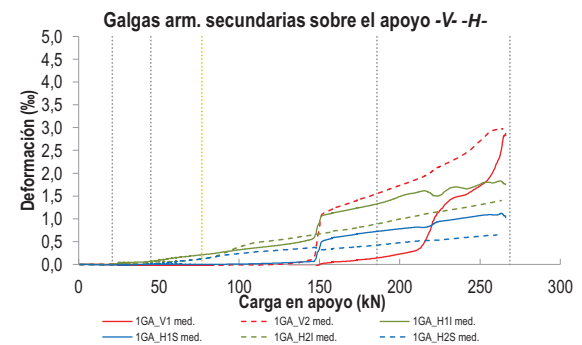
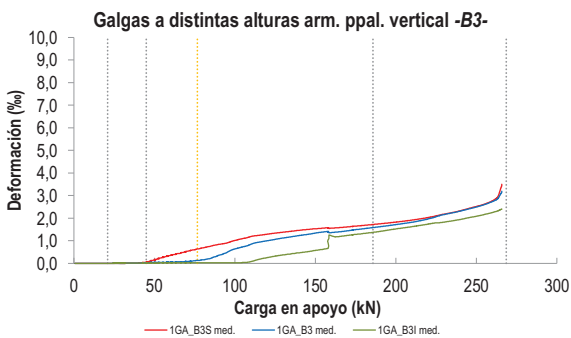
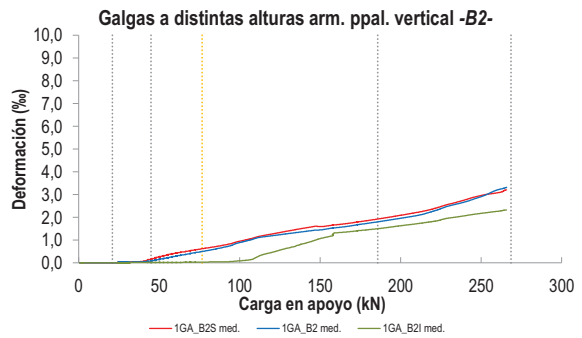
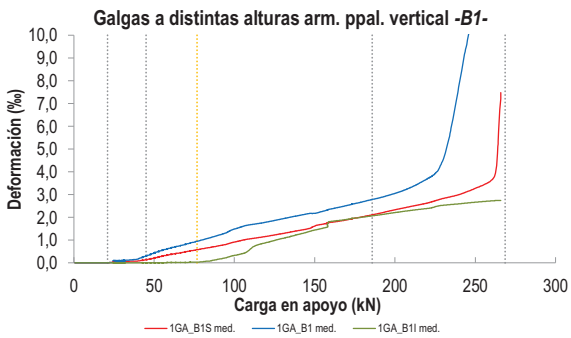
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



				FICHA: 57.5
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-4.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
13,43	5%	0,00	0,46	0,01	0,00	0,00	0,00	-
26,86	10%	0,06	0,91	0,08	0,08	0,03	0,00	-
40,29	15%	0,12	1,38	0,14	0,19	0,06	0,02	-
53,72	20%	0,22	1,82	0,31	0,51	0,20	0,04	-
67,15	25%	0,31	2,28	0,47	0,77	0,38	0,07	-
80,58	30%	0,45	2,76	0,65	1,03	0,55	0,16	-
94,01	35%	0,59	3,16	0,84	1,30	0,75	0,45	-
107,43	40%	0,68	3,65	0,99	1,64	1,02	0,77	-
120,86	45%	0,74	4,14	1,10	1,81	1,20	1,01	-
134,29	50%	0,90	4,65	1,22	2,00	1,32	1,16	-
147,72	55%	1,02	5,20	1,38	2,17	1,44	1,31	-
161,15	60%	1,18	5,97	1,57	2,36	1,55	1,38	-
174,58	65%	1,34	6,70	1,71	2,58	1,68	1,48	-
188,01	70%	1,52	7,31	1,86	2,82	1,83	1,60	-
201,44	75%	1,75	7,88	2,01	3,08	1,98	1,73	-
214,87	80%	1,99	8,48	2,16	3,49	2,16	1,89	-
228,30	85%	2,36	9,23	2,33	4,24	2,44	2,11	-
241,73	90%	2,95	9,98	2,54	8,53	2,72	2,35	-
255,16	95%	6,04	10,80	2,80	13,76	3,07	2,62	-
268,59	100%	7,71	12,11	3,72	14,68	3,29	3,02	-

Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

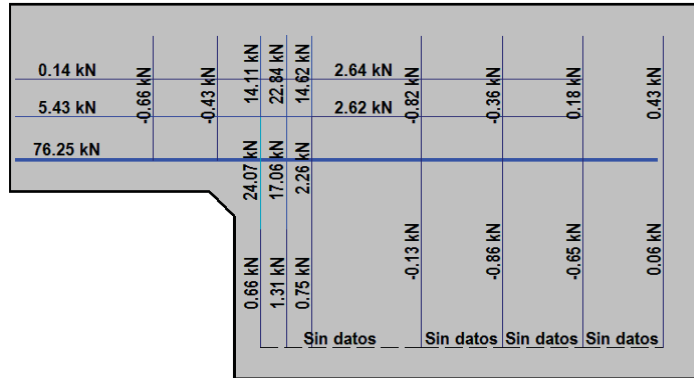
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	21,00	7,8%	0,00	0,71	0,03	0,01	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	45,00	16,8%	0,16	1,54	0,22	0,31	0,09	0,03	-
Abertura de fisura 0,20 mm	50,86	18,9%	0,20	1,72	0,28	0,45	0,16	0,04	-
Abertura de fisura 0,40 mm	76,74	28,6%	0,40	2,60	0,59	0,94	0,50	0,12	-
Abertura de fisura 0,60 mm	96,30	35,9%	0,60	3,25	0,87	1,38	0,81	0,53	-
Abertura de fisura 0,80 mm	124,73	46,4%	0,80	4,28	1,14	1,86	1,24	1,06	-
Primera plastificación	185,80	69,2%	1,49	7,22	1,84	2,78	1,80	1,58	-

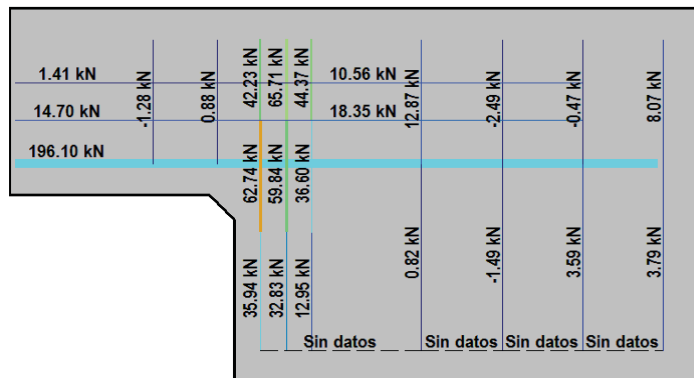
Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

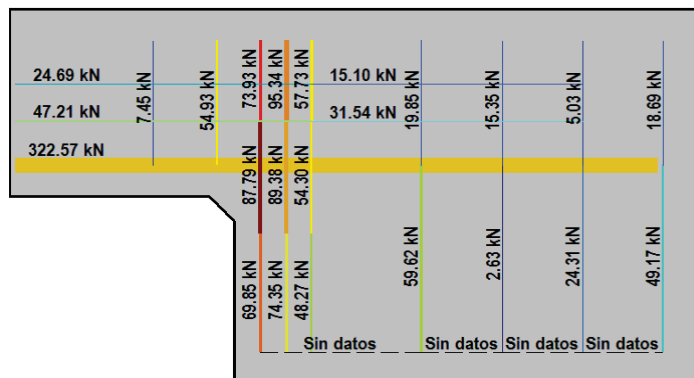
V (kN): 67,15
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,31



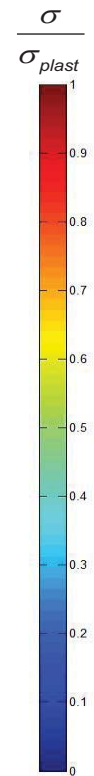
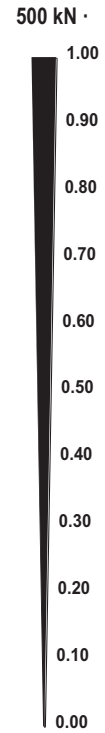
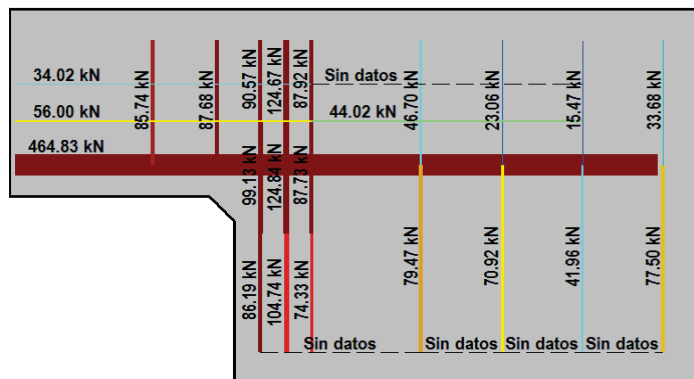
V (kN): 134,29
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,90







V (kN): 201,44
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,75




V (kN): 268,59
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 7,71



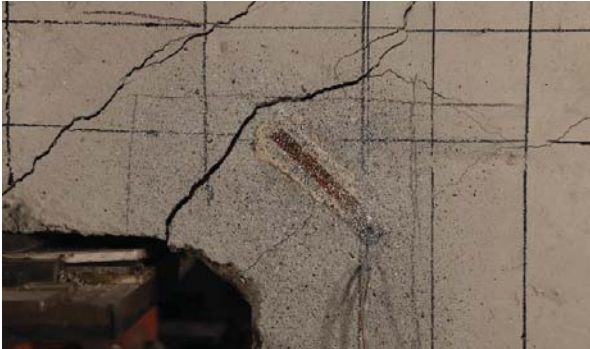
 		 		FICHA: 57.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-4.2 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA







VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Desde los vértices definidos por el bisel parten dos fisuras que son las que definen la fisuración en servicio. Tanto en la cara frontal como en la dorsal la fisura que parte del vértice superior es la que tiene una mayor abertura en todo el rango de cargas.
 - Ambas fisuras parten con una inclinación de unos 45°. La fisura superior al encontrarse con la armadura secundaria horizontal se hace más tendida, formando unos 30° con la horizontal. La fisura inferior se divide al encontrarse con los tirantes principales.
 - Cerca de la carga máxima aparece una fisura que parte desde el borde del apoyo y que busca la parte superior de los tirantes verticales.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical (1er plano) - 2º vertical (2º plano) - 3º horizontal - 4º vertical (3er plano)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima se produce una caída progresiva de la misma, sin que se detecte estabilización a algún valor de la carga.

H.58 DEB-4.2 (T2)

				FICHA: 58.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-4.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p100/O.1/B+SR2
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 09/01/2012
 Edad (días): 38

Factor de cuantía de armado: p100

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 4φ16	Armado: 4φ10+2φ12	Armado: -
Área (cm ²): 8,04	Área (cm ²): 5,40	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

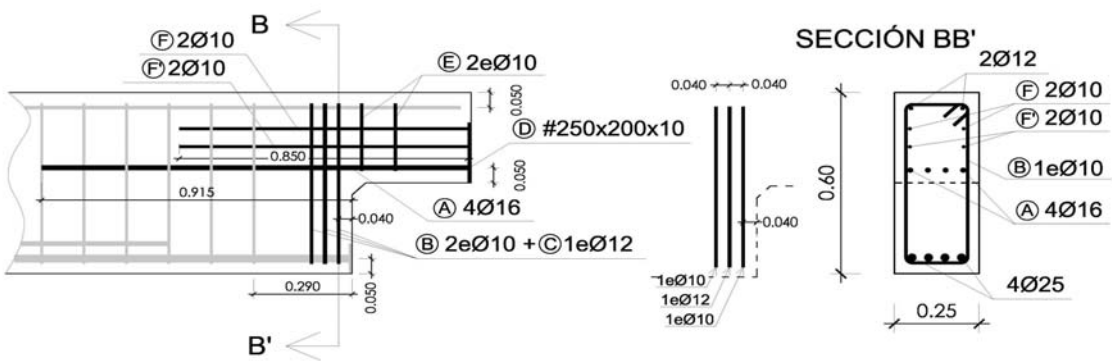
V última (kN): 291,94
 V (w=0,4 mm) (kN): 83,33 29%
 Modo de fallo: SY (V1-H-V2-V3)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
Variante 2:	Arm. sec. distr.	Arm. sec. horiz. y vertical sobre el apoyo distribuida

f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
35,2	3,05	0,00%	-	-

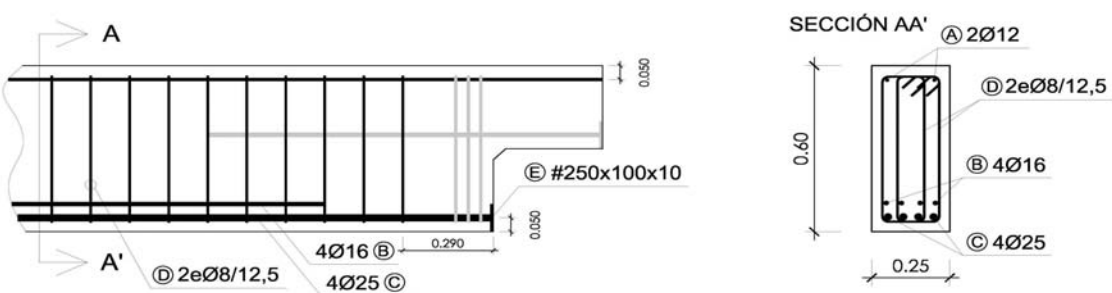
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

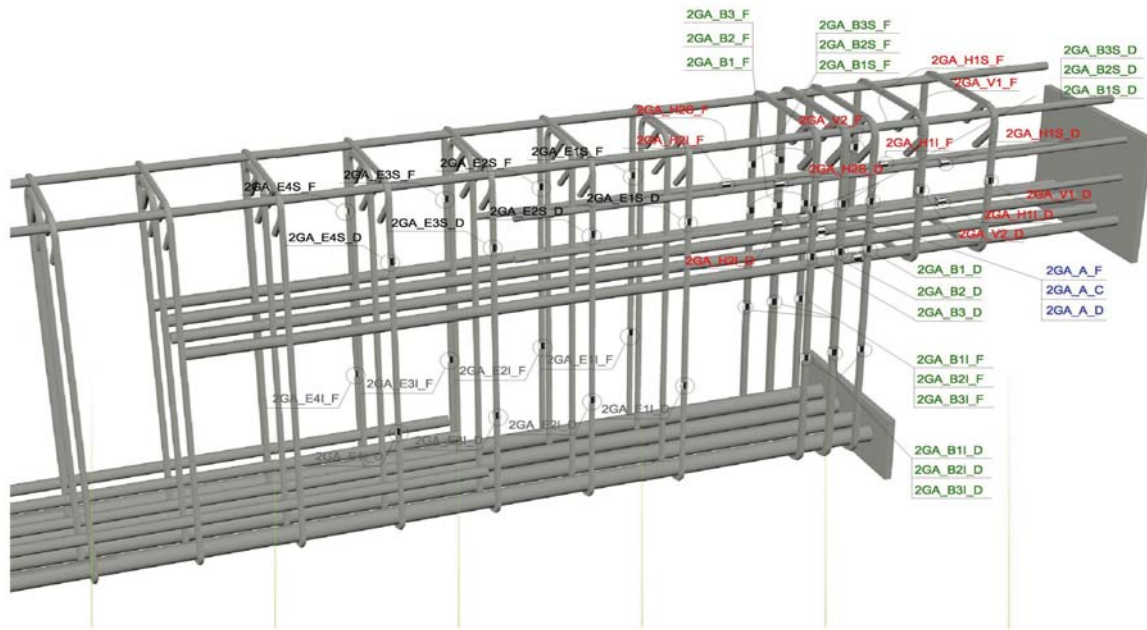
B2.- ARMADO DE LA VIGA



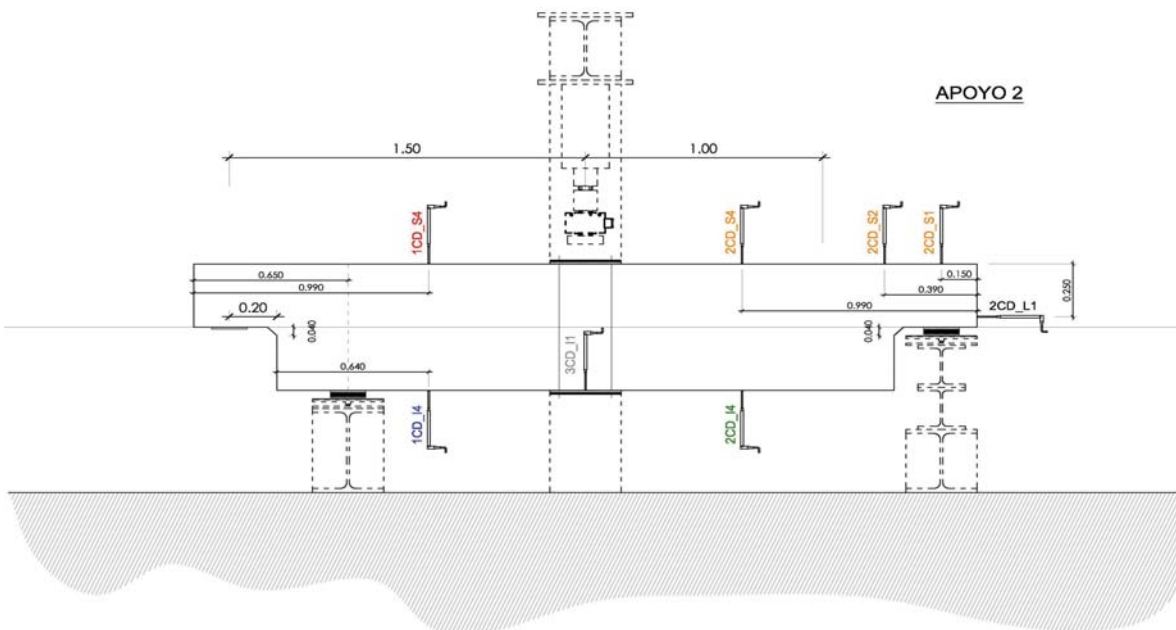
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

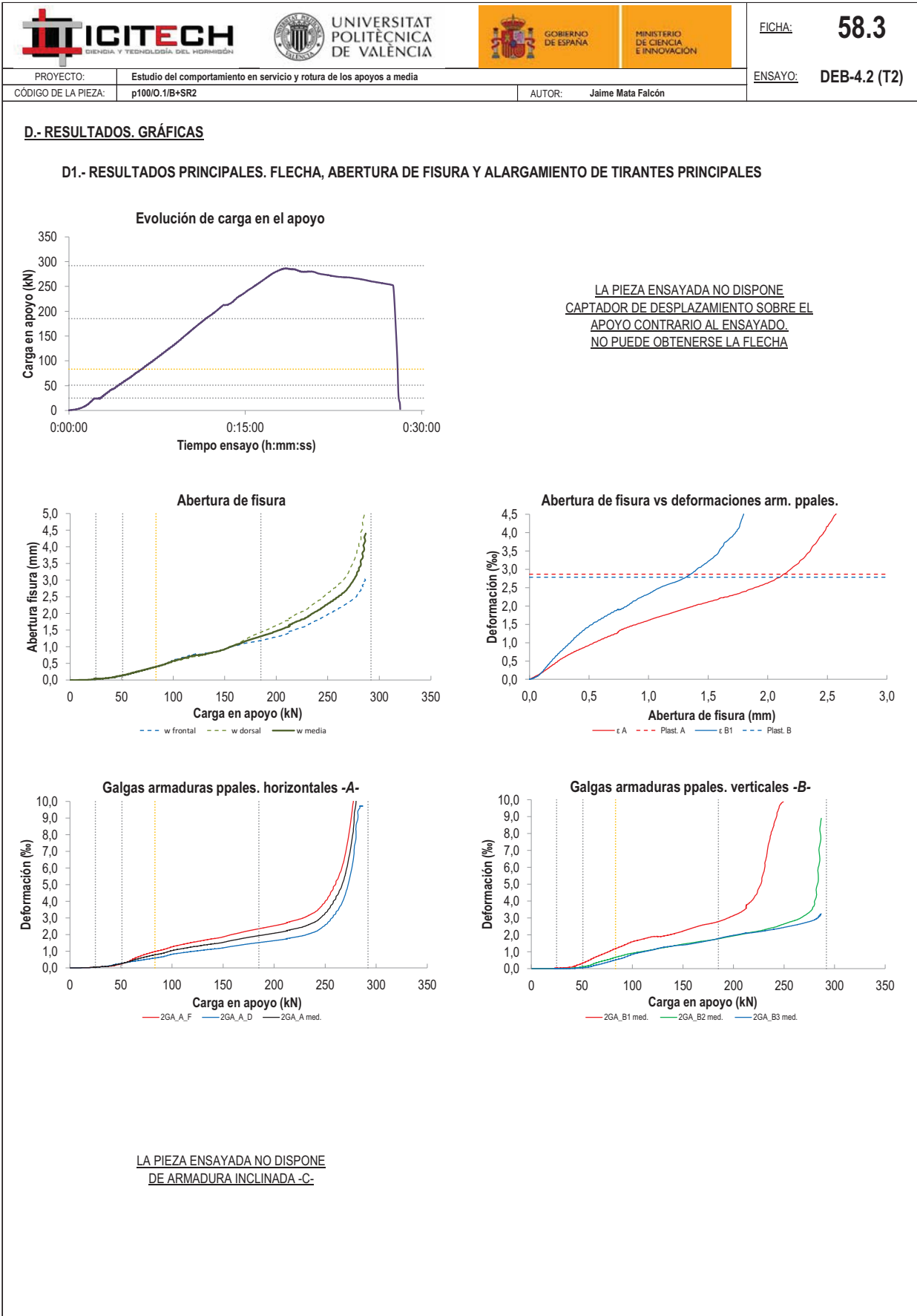
C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

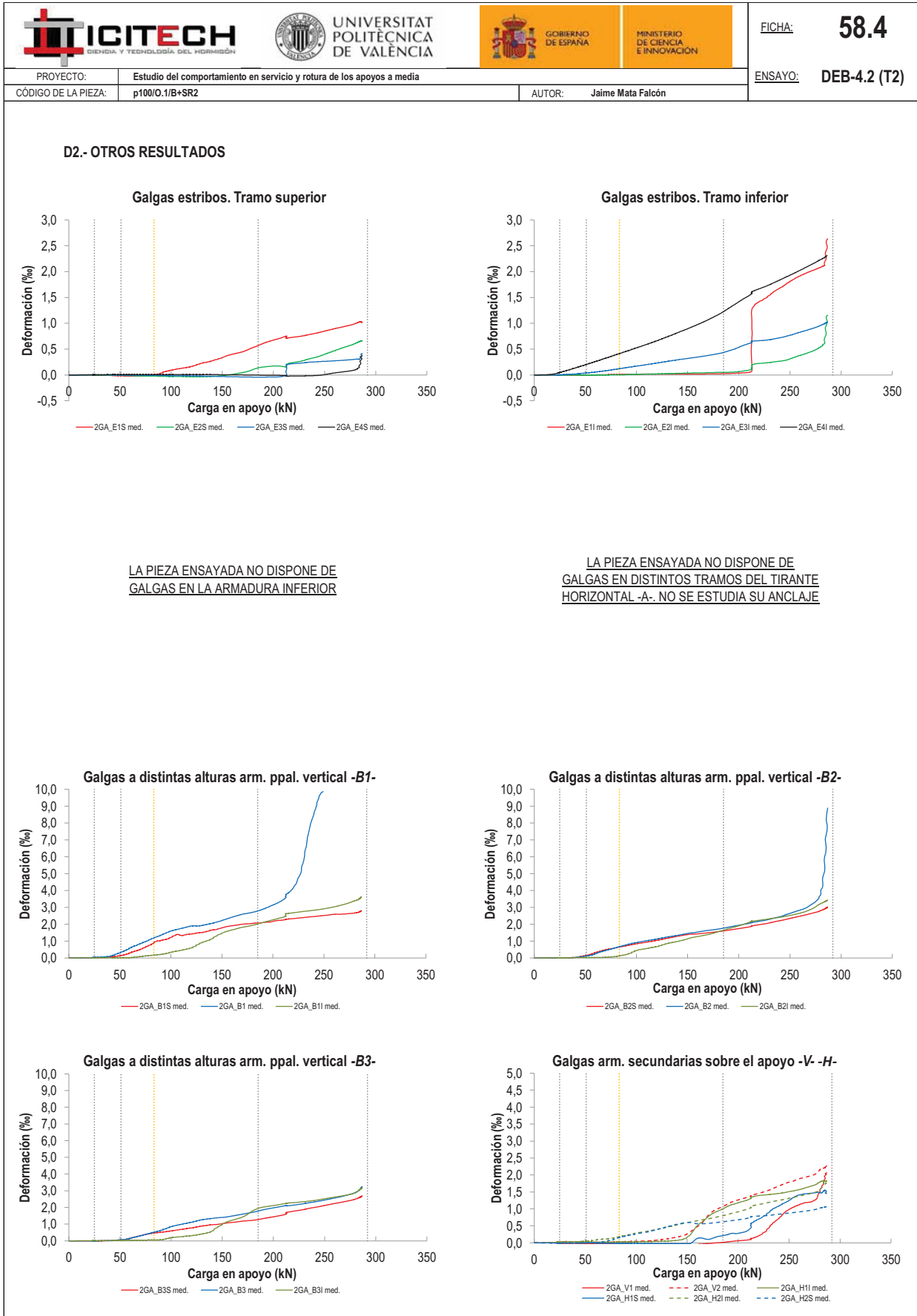
C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA







   		FICHA: 58.5
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.2 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-
14,60	5%	0,00	-	0,01	0,01	0,00	0,00	-
29,19	10%	0,04	-	0,06	0,04	0,01	0,00	-
43,79	15%	0,09	-	0,16	0,16	0,05	0,02	-
58,39	20%	0,20	-	0,40	0,55	0,22	0,12	-
72,99	25%	0,31	-	0,64	0,91	0,49	0,34	-
87,58	30%	0,43	-	0,83	1,28	0,74	0,58	-
102,18	35%	0,59	-	1,07	1,63	0,94	0,88	-
116,78	40%	0,71	-	1,23	1,85	1,09	1,07	-
131,37	45%	0,78	-	1,37	1,94	1,25	1,27	-
145,97	50%	0,88	-	1,49	2,15	1,41	1,38	-
160,57	55%	1,05	-	1,67	2,43	1,55	1,49	-
175,16	60%	1,22	-	1,84	2,65	1,67	1,66	-
189,76	65%	1,36	-	1,98	2,89	1,83	1,85	-
204,36	70%	1,52	-	2,12	3,26	1,99	2,02	-
218,96	75%	1,73	-	2,32	4,04	2,16	2,12	-
233,55	80%	1,96	-	2,58	6,88	2,35	2,26	-
248,15	85%	2,25	-	3,17	9,63	2,61	2,42	-
262,75	90%	2,56	-	4,45	-	2,90	2,60	-
277,34	95%	3,19	-	8,94	-	3,70	2,85	-
291,94	100%	4,22	-	12,37	-	7,95	3,19	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	25,00	8,6%	0,03	-	0,05	0,03	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	51,00	17,5%	0,14	-	0,26	0,33	0,11	0,06	-
Abertura de fisura 0,20 mm	59,10	20,2%	0,20	-	0,40	0,56	0,23	0,13	-
Abertura de fisura 0,40 mm	83,33	28,5%	0,40	-	0,79	1,19	0,68	0,52	-
Abertura de fisura 0,60 mm	103,93	35,6%	0,60	-	1,10	1,67	0,97	0,92	-
Abertura de fisura 0,80 mm	131,28	45,0%	0,80	-	1,37	1,94	1,25	1,27	-
Primera plastificación	185,08	63,4%	1,32	-	1,94	2,79	1,77	1,79	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas



FICHA: **58.6**

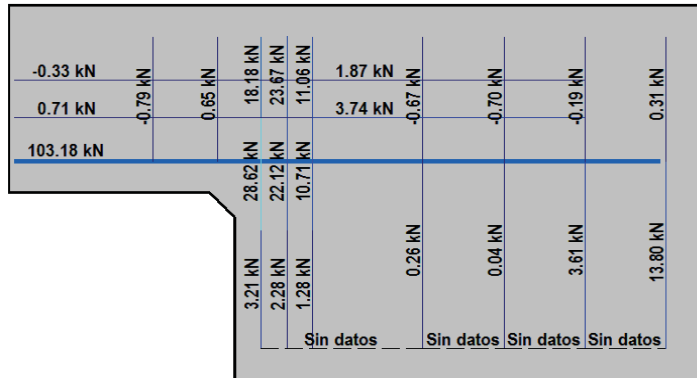
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media
 CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2

ENSAYO: **DEB-4.2 (T2)**

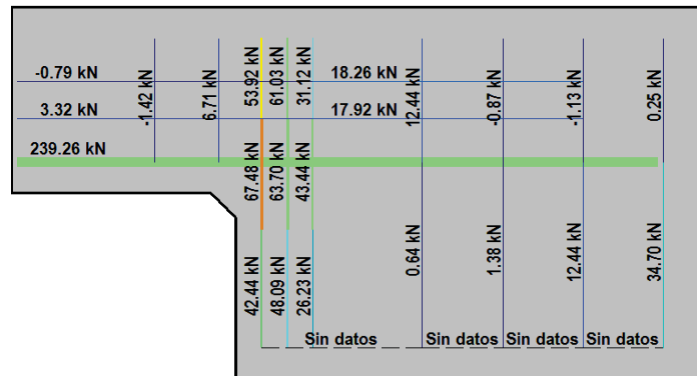
AUTOR: Jaime Mata Falcón

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

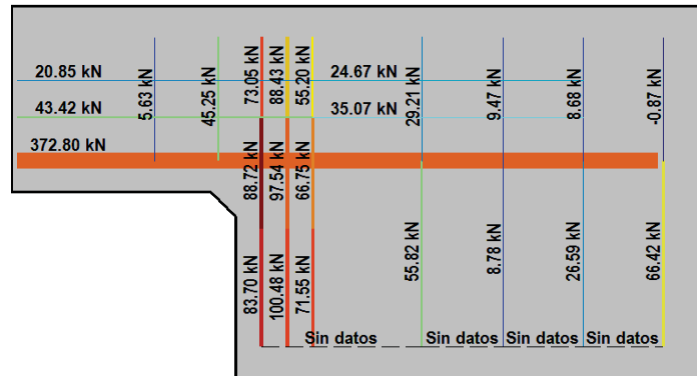
V (kN): 72,99
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,31



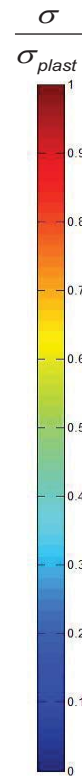
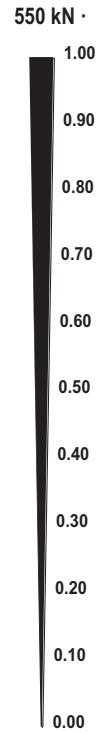
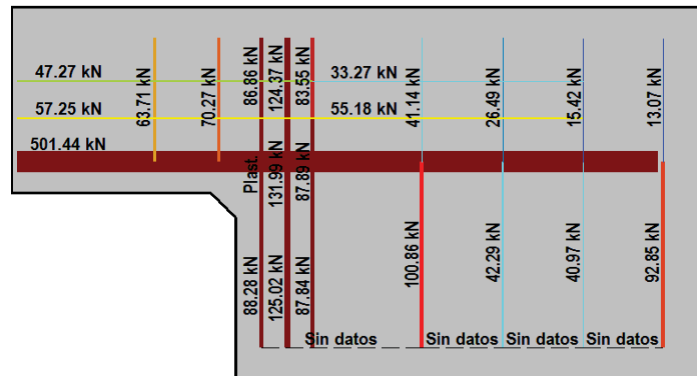
V (kN): 145,97
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,88







V (kN): 218,96
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,73




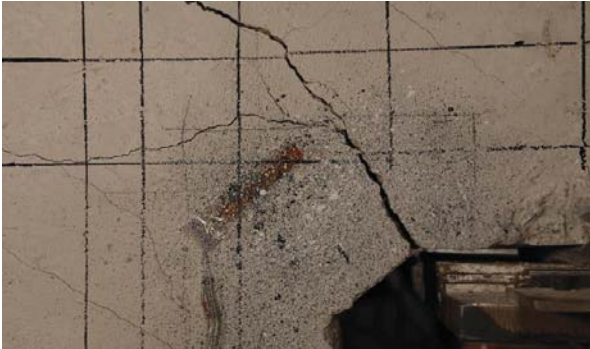
V (kN): 291,94
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 4,22





 		 		FICHA: 58.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-4.2 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p100/O.1/B+SR2	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL) FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)





VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - Partiendo de los vértices del bisel se generan dos fisuras, siendo la fisura superior la que primero se abre y para la cual la abertura es superior para todo el rango de cargas.
 - La fisura superior arranca con una inclinación de unos 60° respecto a la horizontal, pero al encontrarse con las distintas armaduras se hace más horizontal, quedando con una inclinación de unos 45°.
 - Cerca de la carga máxima aparece una fisura que parte del borde del apoyo y que con una inclinación de unos 45° va a buscar la cabeza de los estribos del tirante principal vertical.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical (1er plano) - 2º horizontal - 3º vertical (2º plano) - 4º vertical (3er plano)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, que al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior produce el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima la carga va descendiendo de manera continua, sin estabilizarse en ningún valor.

H.59 DEB-4.3 (T1)

				FICHA: 59.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-4.3 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B+SR1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.1/B+SR1
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 20/01/2012
 Edad (días): 49

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 5,65	Área (cm ²): 3,71	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

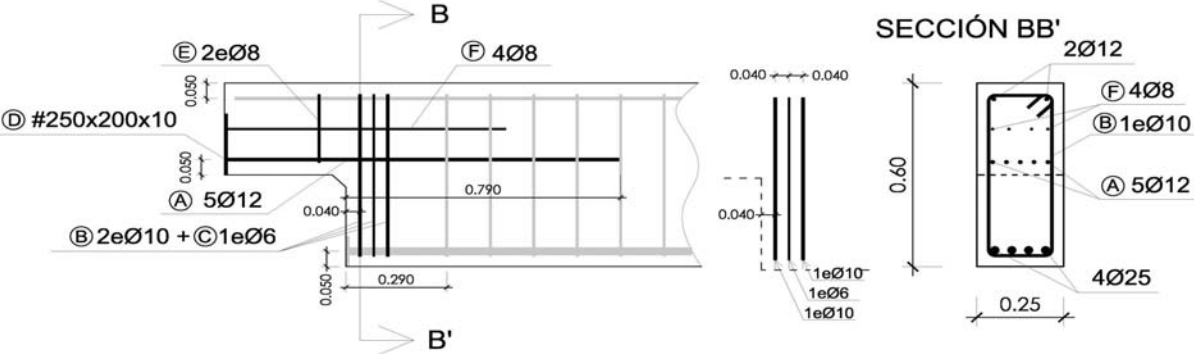
Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

V última (kN): 231,67
 V (w=0,4 mm) (kN): 74,93 32%
 Modo de fallo: SY (V1-V2-H-V3)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto	Variante 2:	Arm. sec. conc.	Arm. sec. horiz. y vertical sobre el apoyo concentrada
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)	
36,9	3,47	0,00%	-	-	

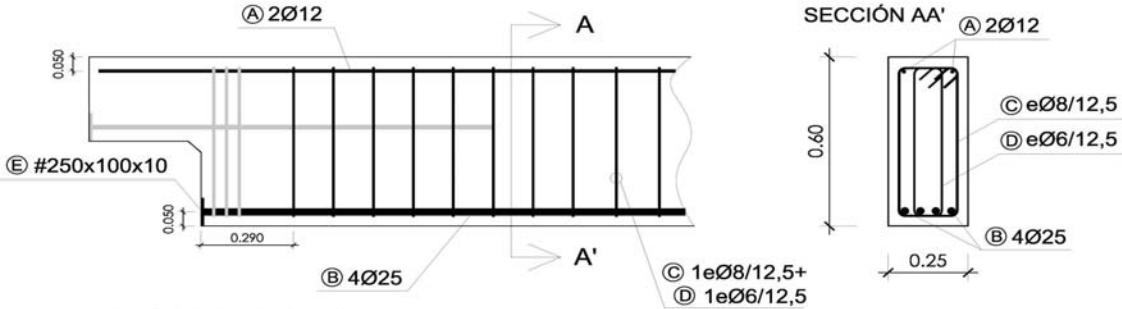
B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA



- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA

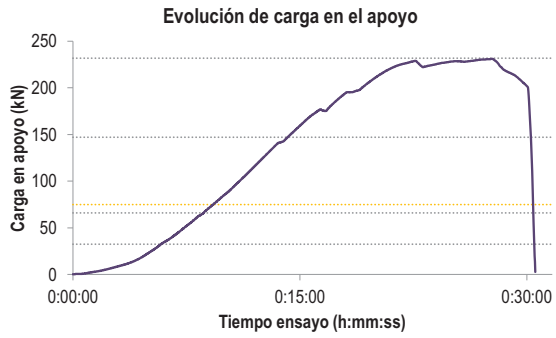


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

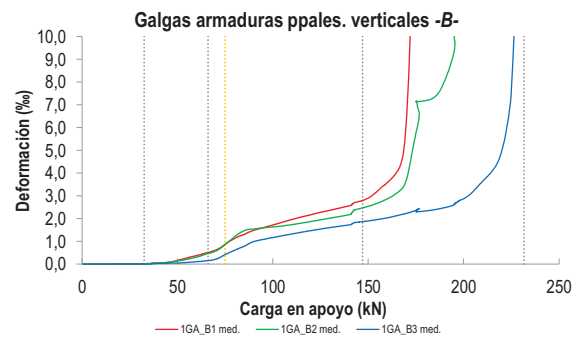
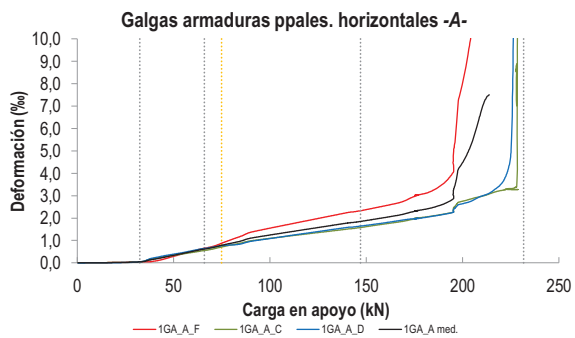
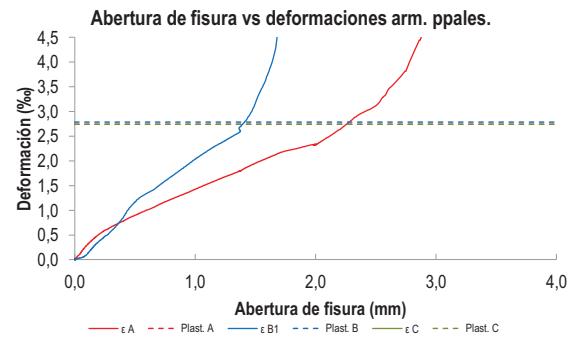
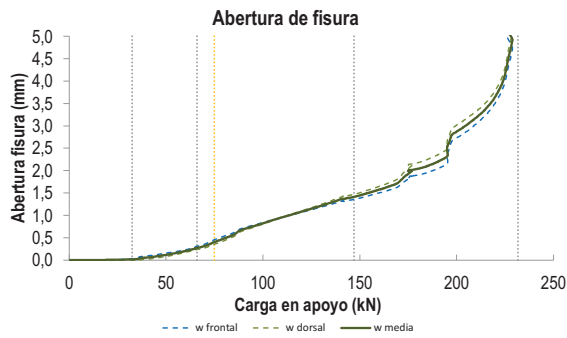
   		FICHA: 59.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.3 (T1)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



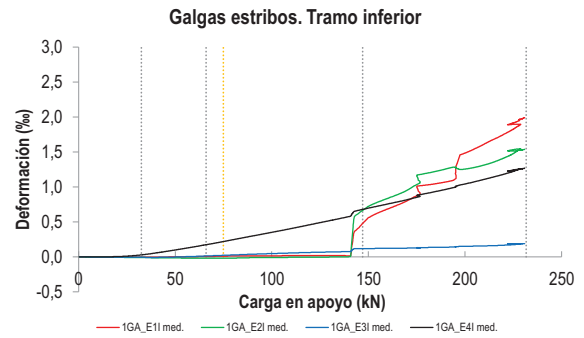
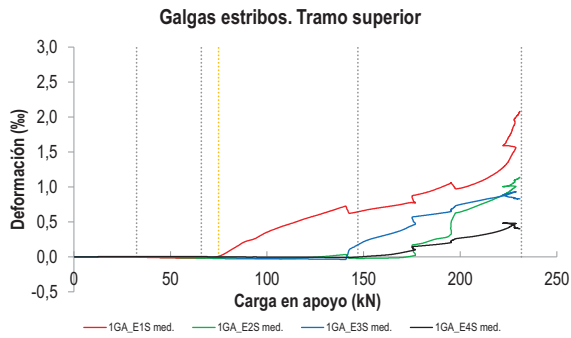
LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE CAPTADOR DE DESPLAZAMIENTO SOBRE EL APOYO CONTRARIO AL ENSAYADO. NO PUEDE OBTENERSE LA FLECHA



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE ARMADURA INCLINADA -C-

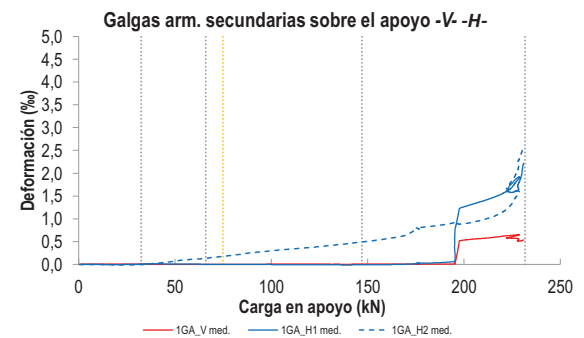
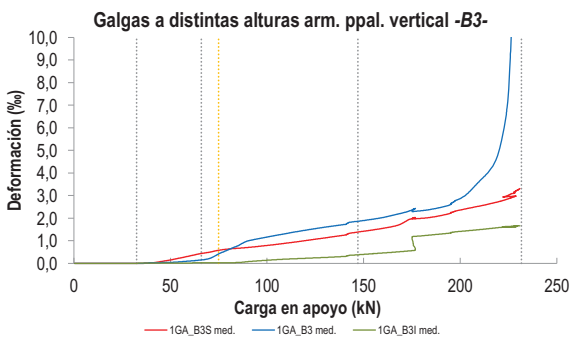
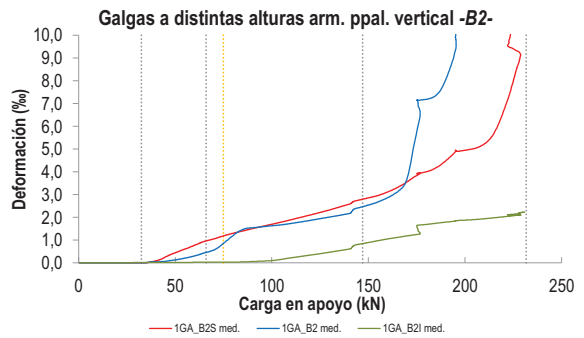
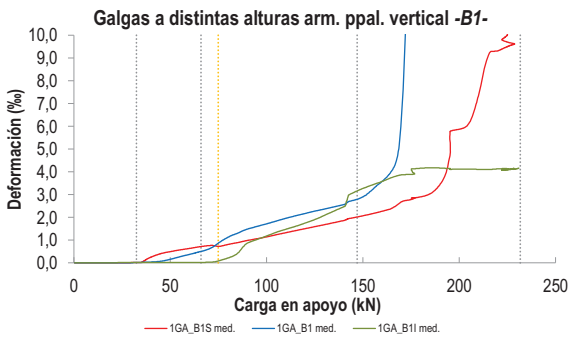
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO:	DEB-4.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1/B+SR1	AUTOR:	Jaime Mata Falcón

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



   		FICHA: 59.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-
11,58	5%	0,00	-	0,01	0,00	0,00	0,00	-
23,17	10%	0,00	-	0,02	0,01	0,00	0,00	-
34,75	15%	0,02	-	0,07	0,02	0,01	0,00	-
46,33	20%	0,09	-	0,28	0,09	0,09	0,04	-
57,92	25%	0,18	-	0,48	0,33	0,26	0,09	-
69,50	30%	0,31	-	0,67	0,60	0,55	0,20	-
81,09	35%	0,50	-	0,90	1,17	1,27	0,65	-
92,67	40%	0,72	-	1,14	1,55	1,57	1,04	-
104,25	45%	0,88	-	1,30	1,82	1,67	1,23	-
115,84	50%	1,03	-	1,46	2,08	1,81	1,41	-
127,42	55%	1,18	-	1,61	2,32	1,98	1,57	-
139,00	60%	1,35	-	1,77	2,56	2,18	1,72	-
150,59	65%	1,45	-	1,90	2,94	2,55	1,90	-
162,17	70%	1,61	-	2,06	3,77	2,97	2,07	-
173,76	75%	1,93	-	2,30	12,88	6,00	2,34	-
185,34	80%	2,11	-	2,50	-	7,44	2,40	-
196,92	85%	2,59	-	3,49	-	9,65	2,70	-
208,51	90%	3,13	-	6,41	-	-	3,51	-
220,09	95%	4,57	-	-	-	-	5,89	-
231,67	100%	7,75	-	-	-	-	12,65	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

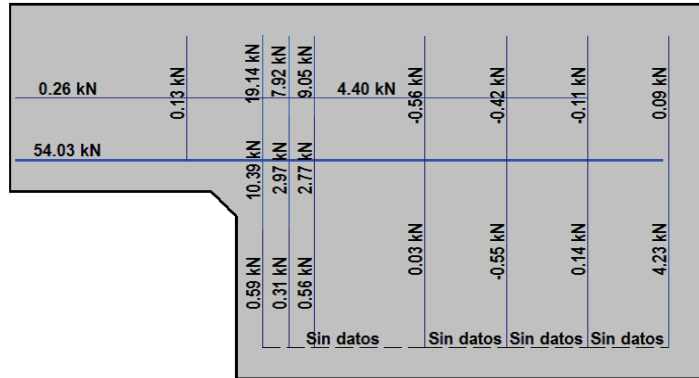
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	32,50	14,0%	0,00	-	0,05	0,02	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	66,00	28,5%	0,27	-	0,62	0,50	0,46	0,15	-
Abertura de fisura 0,20 mm	59,57	25,7%	0,20	-	0,51	0,37	0,30	0,10	-
Abertura de fisura 0,40 mm	74,93	32,3%	0,40	-	0,78	0,86	0,85	0,41	-
Abertura de fisura 0,60 mm	85,76	37,0%	0,60	-	1,00	1,33	1,49	0,82	-
Abertura de fisura 0,80 mm	98,32	42,4%	0,80	-	1,22	1,68	1,62	1,14	-
Primera plastificación	147,03	63,5%	1,41	-	1,85	2,80	2,47	1,87	-

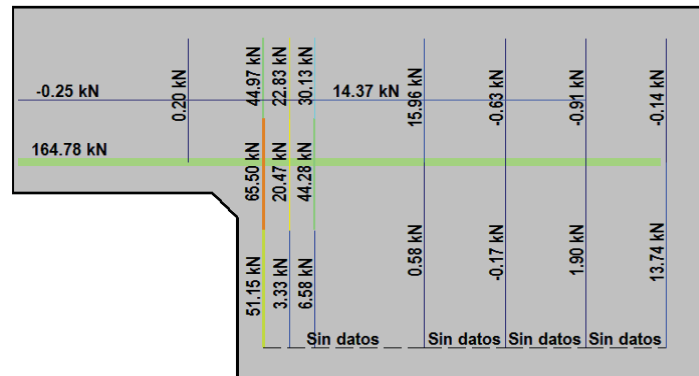
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

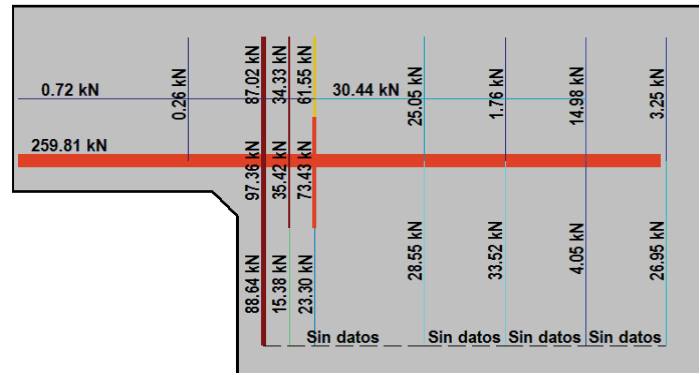
V (kN): 57,92
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,18



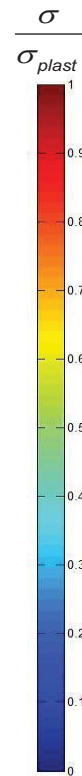
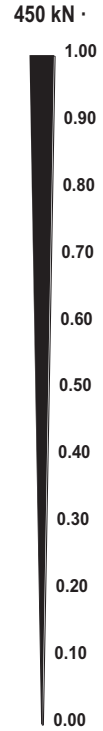
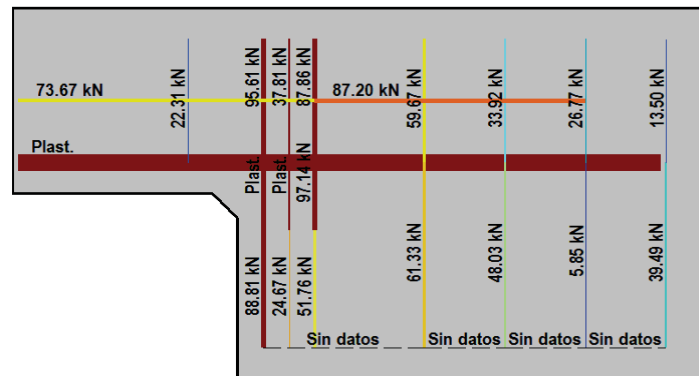
V (kN): 115,84
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 1,03







V (kN): 173,76
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,93





V (kN): 231,67
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 7,75





 		 		FICHA: 59.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-4.3 (T1)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS

FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL) FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)





VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA

H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - De los vértices que define el bisel se abren sendas fisuras, siendo la superior la que primero se abre y la que tiene una mayor abertura para todo el rango de cargas.
 - La fisura superior del bisel arranca con una inclinación de unos 45° y se divide al encontrarse con las armaduras principales.
 - Cerca de la carga máxima aparecen fisuras que parten desde el borde del apoyo y desde la placa de anclaje de la armadura horizontal. Todas estas fisuras acaban juntándose a la altura de la armadura superior, también junto con la fisura generada en la parte superior del bisel.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º vertical (1er plano) - 2º vertical (2º plano) - 3º horizontal - 4º vertical (3er plano)
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte de la parte superior del bisel, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar la carga máxima la carga va descendiendo de manera uniforme sin estabilizarse en un valor concreto.

H.60 DEB-4.3 (T2)

				FICHA: 60.1
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media			ENSAYO: DEB-4.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B+SR1		AUTOR: Jaime Mata Falcón		

A.- DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Codificación: p71/O.1/B+SR1
 Fecha horm.: 02/12/2011
 Fecha ensayo: 20/01/2012
 Edad (días): 49

Factor de cuantía de armado: p71

AsH -A-	AsV -B-	AsD -C-
Armado: 5φ12	Armado: 4φ10+2φ6	Armado: -
Área (cm ²): 5,65	Área (cm ²): 3,71	Área (cm ²): 0,00
α: 100%	β: 100%	γ: 0%
Rec. mecán. (mm): 80		

Secc. apoyo (mm): 250x300
 Secc. viga (mm): 250x600
 Tipo ensayo: Apoyo intermedio

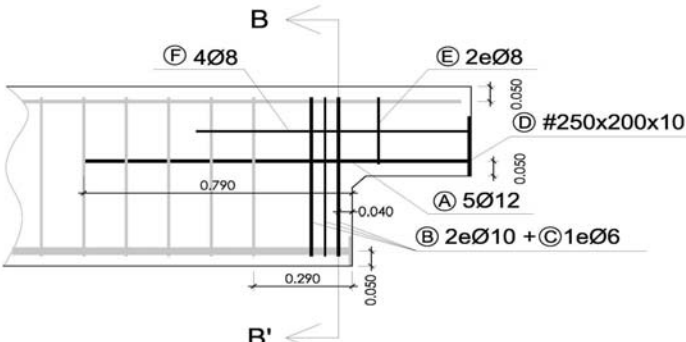
V última (kN): 245,94
 V (w=0,4 mm) (kN): 85,68 35%
 Modo de fallo: SY (V2-H-V3-V1)

Variante 1:	Biselado	Biselado de la esquina de 4 cm de ancho x 4 cm de alto
Variante 2:	Arm. sec. conc.	Arm. sec. horiz. y vertical sobre el apoyo concentrada

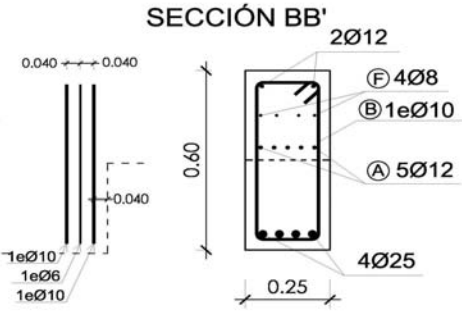
f _c (Mpa)	f _{ct} (Mpa)	Vol. Fibras	f _{1,R} (Mpa)	f _{3,R} (Mpa)
36,9	3,47	0,00%	-	-

B.- ESQUEMAS DE ARMADO

B1.- ARMADO DEL APOYO A MEDIA MADERA

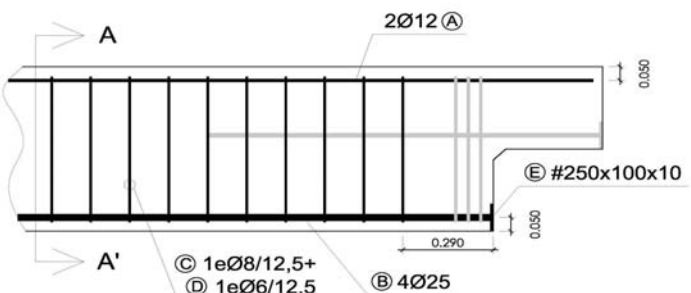


SECCIÓN BB'

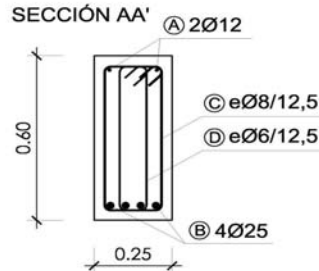


- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

B2.- ARMADO DE LA VIGA



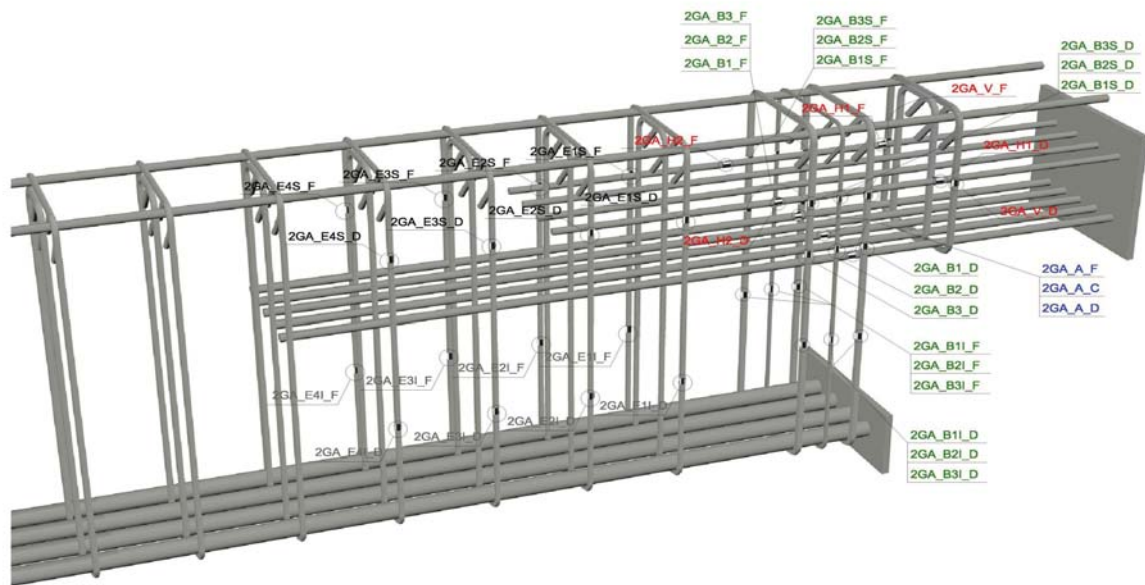
SECCIÓN AA'



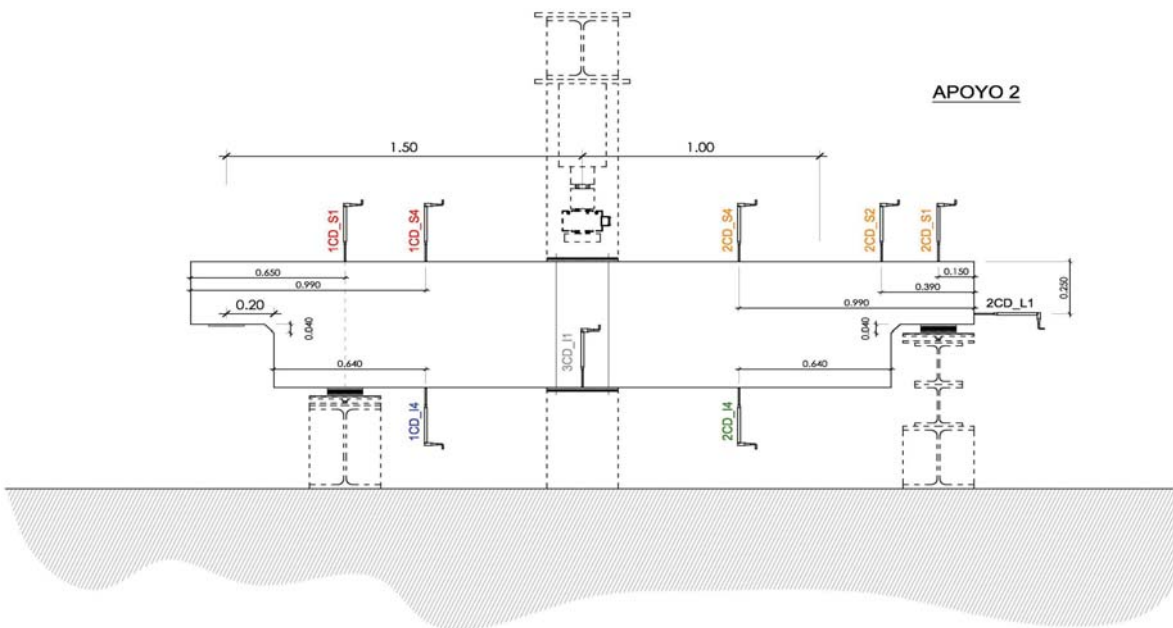
- Recubrimientos laterales = 3 cm
- Recubrimientos superior e inferior a eje de armaduras longitudinales = 5 cm
- Cotas en metros

C.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

C1.- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS EN BARRAS DE ACERO



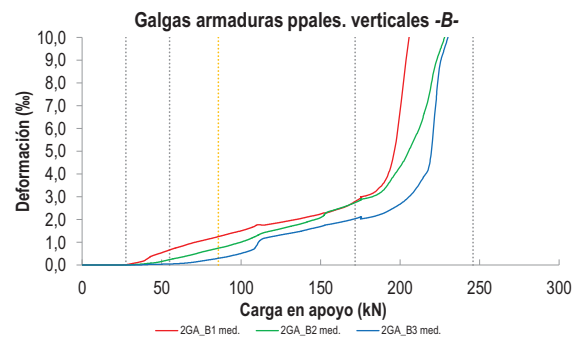
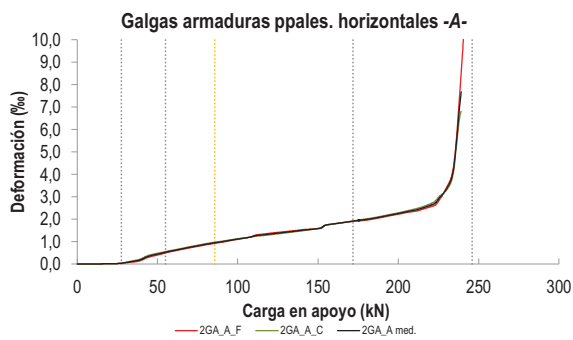
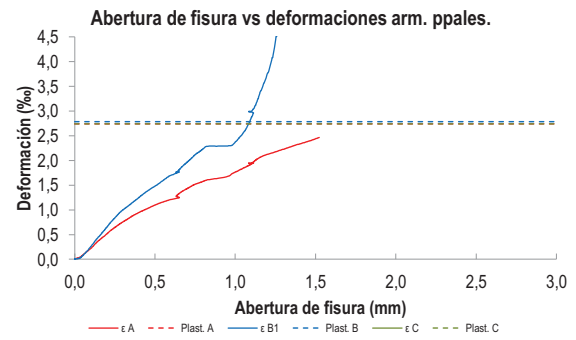
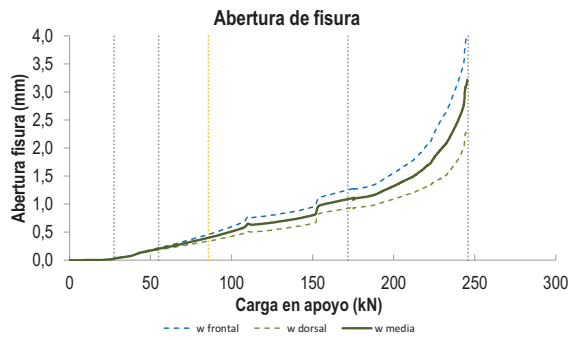
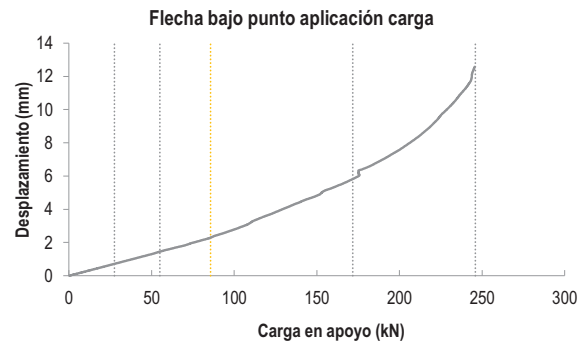
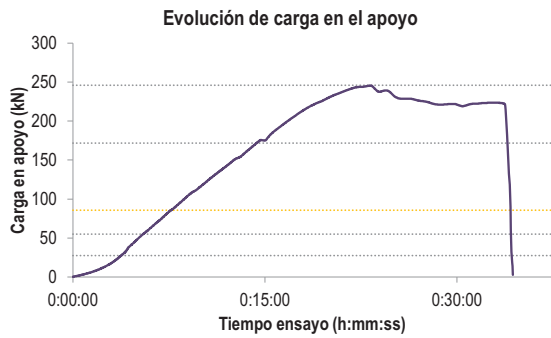
C2.- CAPTADORES DE DESPLAZAMIENTO, SISTEMA DE APOYOS Y GEOMETRÍA



   		FICHA: 60.3
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D.- RESULTADOS. GRÁFICAS

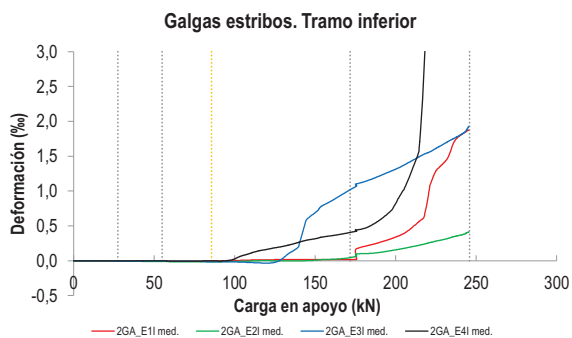
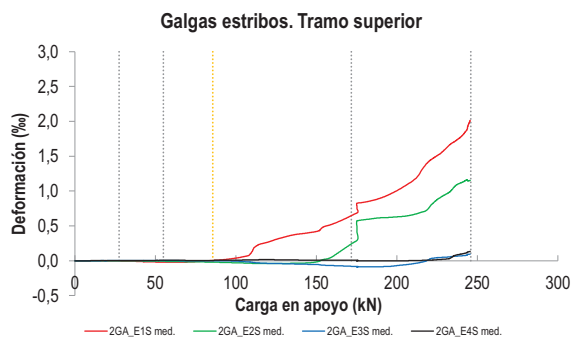
D1.- RESULTADOS PRINCIPALES. FLECHA, ABERTURA DE FISURA Y ALARGAMIENTO DE TIRANTES PRINCIPALES



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE
DE ARMADURA INCLINADA -C-

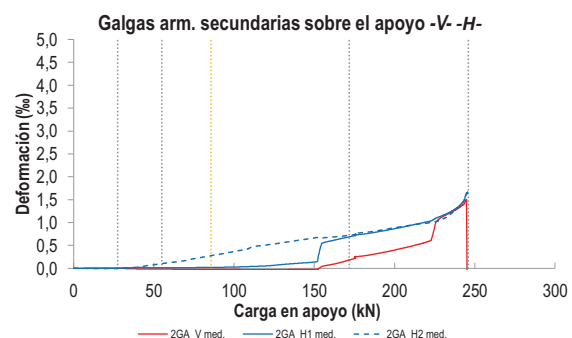
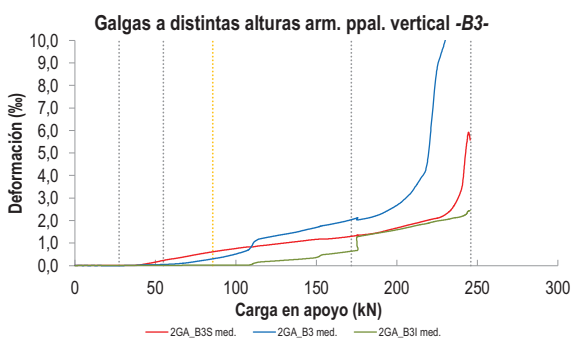
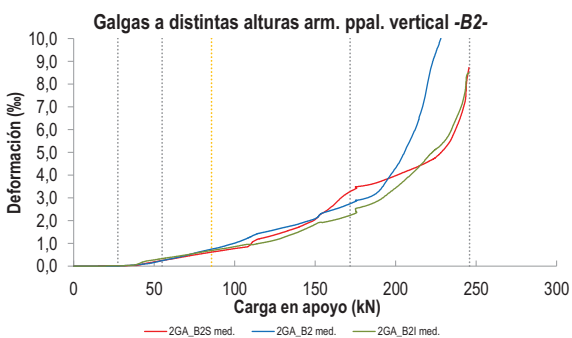
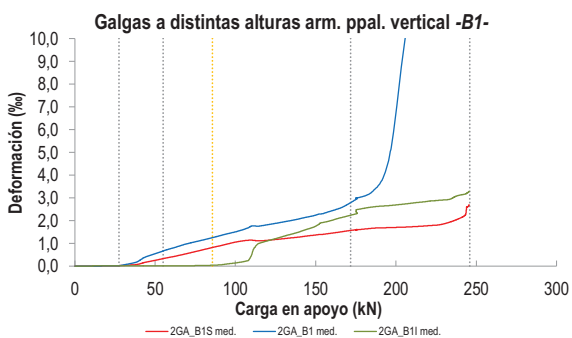
   		FICHA: 60.4
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.3 (T2)	
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón	

D2.- OTROS RESULTADOS



LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN LA ARMADURA INFERIOR

LA PIEZA ENSAYADA NO DISPONE DE GALGAS EN DISTINTOS TRAMOS DEL TIRANTE HORIZONTAL -A-. NO SE ESTUDIA SU ANCLAJE



   		FICHA: 60.5
PROYECTO:	Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media	ENSAYO: DEB-4.3 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA:	p71/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón

E.- RESULTADOS. TABLAS

E1.- RESULTADOS PRINCIPALES EN ESCALONES DE CARGA

Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
12,30	5%	0,00	0,32	0,01	0,00	0,00	0,00	-
24,59	10%	0,00	0,64	0,02	0,01	0,00	0,00	-
36,89	15%	0,07	0,96	0,14	0,15	0,04	0,01	-
49,19	20%	0,17	1,28	0,43	0,52	0,15	0,04	-
61,49	25%	0,24	1,62	0,62	0,80	0,33	0,07	-
73,78	30%	0,32	1,95	0,80	1,05	0,54	0,16	-
86,08	35%	0,40	2,31	0,95	1,26	0,75	0,30	-
98,38	40%	0,50	2,73	1,10	1,48	0,98	0,48	-
110,67	45%	0,64	3,23	1,25	1,76	1,31	0,94	-
122,97	50%	0,66	3,75	1,36	1,85	1,56	1,30	-
135,27	55%	0,72	4,25	1,46	2,01	1,77	1,45	-
147,57	60%	0,79	4,73	1,56	2,20	2,02	1,65	-
159,86	65%	1,02	5,31	1,79	2,43	2,45	1,85	-
172,16	70%	1,09	6,00	1,93	2,88	2,81	2,05	-
184,46	75%	1,14	6,72	2,04	3,25	3,07	2,16	-
196,75	80%	1,28	7,39	2,21	5,29	3,99	2,54	-
209,05	85%	1,45	8,20	2,39	11,42	5,55	3,28	-
221,35	90%	1,72	9,28	2,70	12,60	8,52	6,54	-
233,65	95%	2,17	10,57	4,53	12,60	12,76	11,32	-
245,94	100%	2,91	11,99	-	12,60	15,80	13,24	-

 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

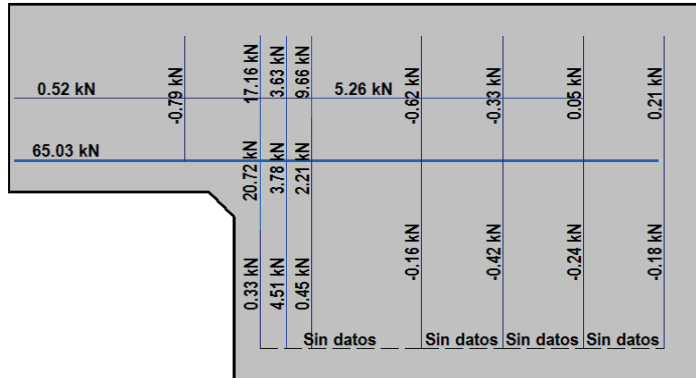
E2.- RESULTADOS PRINCIPALES EN PUNTOS REPRESENTATIVOS

Designación del punto representativo	Carga (kN)	V / V _u (%)	w _m (mm)	Flecha (mm)	ε _A (‰)	ε _{B1} (‰)	ε _{B2} (‰)	ε _{B3} (‰)	ε _C (‰)
Inicio de fisuración	27,50	11,2%	0,00	0,72	0,04	0,02	0,00	0,00	-
Punto de cambio de rigidez	55,00	22,4%	0,20	1,45	0,53	0,67	0,24	0,05	-
Abertura de fisura 0,20 mm	54,71	22,2%	0,20	1,44	0,52	0,66	0,24	0,05	-
Abertura de fisura 0,40 mm	85,68	34,8%	0,40	2,30	0,95	1,25	0,75	0,30	-
Abertura de fisura 0,60 mm	112,71	45,8%	0,60	3,34	1,28	1,76	1,38	1,10	-
Abertura de fisura 0,80 mm	144,55	58,8%	0,80	4,62	1,54	2,15	1,96	1,61	-
Primera plastificación	171,75	69,8%	1,09	5,92	1,92	2,83	2,78	2,04	-

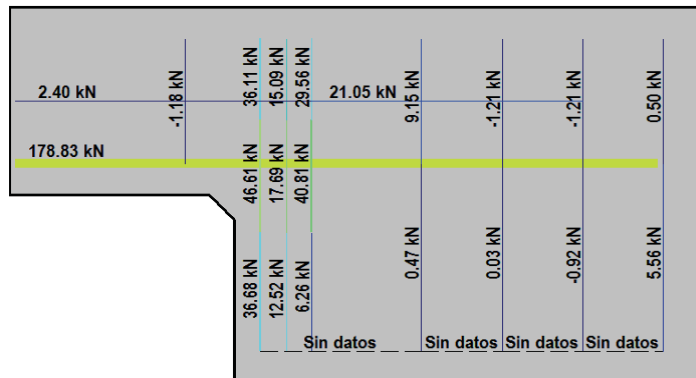
 Indica que las armaduras se encuentran plastificadas

F.- ESQUEMAS DE TENSIONES Y TRACCIONES DEL APOYO A MEDIA MADERA PARA DISTINTOS NIVELES DE CARGA

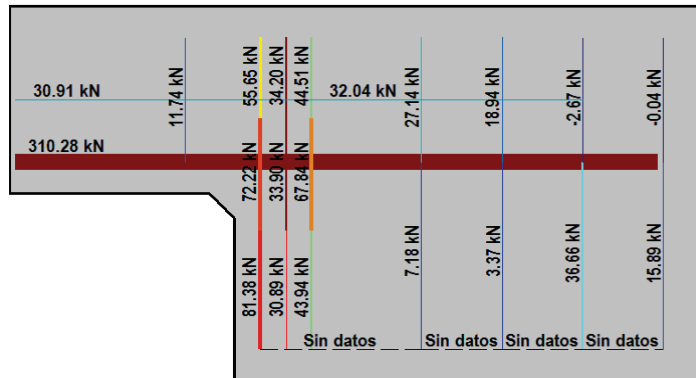
V (kN): 61,49
 V/V_{última}: 25%
 w_m (mm): 0,24



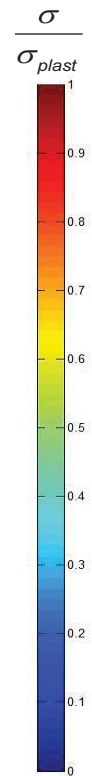
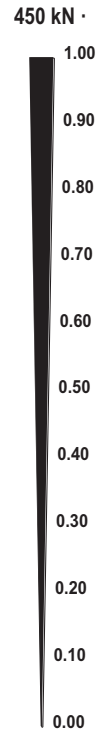
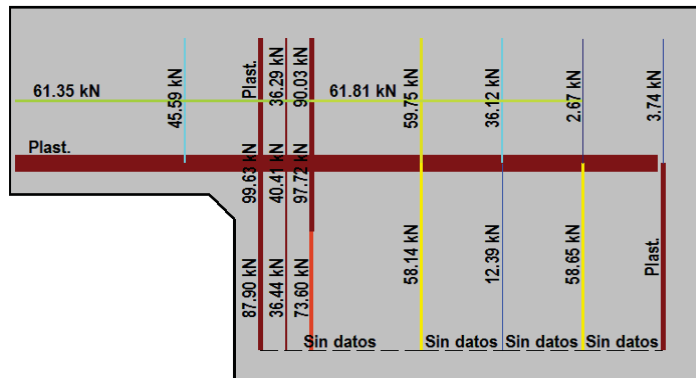
V (kN): 122,97
 V/V_{última}: 50%
 w_m (mm): 0,66







V (kN): 184,46
 V/V_{última}: 75%
 w_m (mm): 1,14




V (kN): 245,94
 V/V_{última}: 100%
 w_m (mm): 2,91



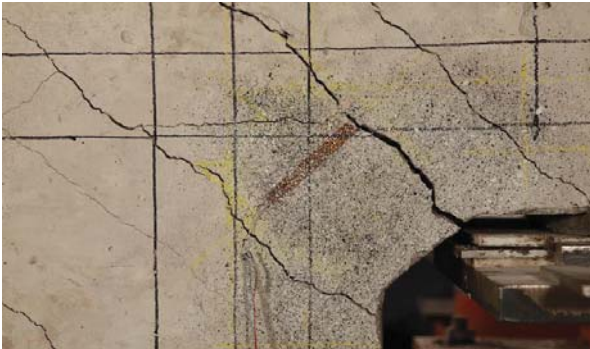
 		 		FICHA: 60.7
PROYECTO: Estudio del comportamiento en servicio y rotura de los apoyos a media				ENSAYO: DEB-4.3 (T2)
CÓDIGO DE LA PIEZA: p71/O.1/B+SR1	AUTOR: Jaime Mata Falcón			

G.- FOTOS DE LOS ENSAYOS


FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (FRONTAL)




FISURACIÓN DEL APOYO A LA CARGA MÁXIMA (DORSAL)



VISTA GENERAL DE LA PIEZA A LA CARGA MÁXIMA



VISTA GENERAL DE LA PIEZA TRAS LA ROTURA



H.- COMENTARIOS

- TIPO DE ENSAYO: Ensayo con apoyo intermedio.
- INCIDENCIAS: --
- DESCRIPCIÓN DE LA FISURACIÓN:
 - En servicio se abren dos fisuras que parten de los vértices que definen el bisel. La fisura superior se abre primeramente y tiene una abertura superior para todo el rango de cargas, tanto en la cara frontal como en la dorsal.
 - Las dos fisuras que parten de los vértices del bisel tienen una inclinación de unos 45° en toda su longitud.
 - Cerca de la carga máxima aparecen fisuras sobre el apoyo, como la que parte del borde del mismo y que lleva a la rotura de la pieza.
- TIPO DE ROTURA: Rotura por plastificación del acero. Plastifican todos los tirantes principales: 1º/ vertical (1er plano) - 2º/ vertical (2º plano) - 3º/ vertical (3er plano) - 4º/ horizontal
- DESCRIPCIÓN DE ROTURA: La rotura se produce por progresión de la fisura que parte del borde del apoyo, al juntarse con otras fisuras a la altura de la armadura superior y producir el levantamiento del recubrimiento de hormigón.
- COMPORTAMIENTO POST-PICO: Tras alcanzar su valor máximo la carga se estabiliza con una caída del 10% de la misma.