

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	8
II.1 Introducción teórica a los métodos de diseño de apoyos a media madera.....	8
II.1.1 Método de bielas y tirantes	8
II.1.2 Campos de tensiones	15
II.1.3 Distribuciones de tensiones basadas en elementos finitos.....	17
II.1.4 Shear friction and diagonal bending methods.....	18
II.2 Análisis de los ensayos experimentales existentes en la literatura.....	19
II.2.1 Primeras investigaciones (hasta 1987).....	22
II.2.2 Validación del Método de las Bielas y Tirantes (1987-1999)	26
II.2.3 Investigaciones recientes (desde 2000)	29
II.3 Modelos para la estimación de la abertura de fisura.....	34
II.3.1 Modelo de Clark y Thorogood.....	34
II.3.2 Compatibility-aided strut-and-tie model (CASTM).....	37
II.4 Breve análisis del tratamiento normativo de los AMM	39
II.4.1 EHE-08	40
II.4.2 Eurocódigo 2 (EN 1992-1-1:2004).....	40

II.4.3 ACI 318-08.....	41
II.4.4 CSA A23.3-04.....	41
II.4.5 SIA 262:2013.....	41
II.4.6 Código Modelo 2010.....	41
II.4.7 PCI Desing Handbook 7th edition.....	41
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