



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño y dimensionado de una compuerta de parada en la Acequia Vieja de Almoradí (Alicante)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Bouker Ajbar, Mohamed Ali

Tutor/a: Pérez Sánchez, Modesto

Cotutor/a: Gómez Sellés, Elena

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

Se propone realizar un análisis detallado del diseño y dimensionado de una compuerta de canal, considerando factores clave como la carga hidráulica, la presión del fluido y otros parámetros relevantes. La compuerta de canal propuesta se aplicará en entornos hidráulicos para gestionar y controlar el flujo de agua de manera eficiente y segura. El proceso de dimensionado se llevará a cabo mediante la aplicación de principios de mecánica de fluidos, resistencia de materiales y normativa vigente. En primera instancia, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las cargas a las que estará sometida la compuerta, tanto en condiciones estáticas como dinámicas. Este estudio se realizará mediante técnicas de cálculo estructural, considerando diversos escenarios operativos. Se buscarán soluciones que incorporen materiales específicos y posibles tratamientos para optimizar el rendimiento y la durabilidad de la compuerta. Posteriormente, se realizará un predimensionado de la compuerta, seguido de una evaluación económica anticipada y una estimación de los plazos de fabricación. Se procederá a la selección de la opción más viable, considerando factores técnicos y económicos. El dimensionamiento preciso de la compuerta será una etapa crucial, abarcando aspectos como los procedimientos de fabricación (forja, mecanizados, soldeo, etc.), la selección de cojinetes y el sistema de lubricación. Se desarrollarán hojas del plan de mecanizados, planos detallados de las etapas de fabricación, así como planos finales del conjunto de la compuerta. Se incluirá un modelado de la compuerta con una simulación del estado de tensiones y deformaciones, verificando las cargas aplicadas, el mallado y validando los resultados obtenidos mediante el dimensionamiento. Finalmente, se presentará un presupuesto detallado que incluirá precios unitarios, definición de las unidades de trabajo y su valoración, estado de mediciones, presupuestos parciales y el presupuesto total del proyecto.

Palabras clave: Compuerta; Ingeniería hidráulica; Caja reductora; Canalización de agua; Forja.

RESUM

Es proposa fer una anàlisi detallada del disseny i dimensionament d'una comporta de canal, considerant factors clau com la càrrega hidràulica, la pressió del fluid i altres paràmetres rellevants. La comporta de canal proposada s'aplicarà a entorns hidràulics per gestionar i controlar el flux d'aigua de manera eficient i segura. El procés de dimensionament es durà a terme mitjançant l'aplicació de principis de mecànica de fluids, resistència de materials i normativa vigent. En primera instància, es durà a terme una anàlisi exhaustiva de les càrregues a què estarà sotmesa la comporta, tant en condicions estàtiques com dinàmiques. Aquest estudi es farà mitjançant tècniques de càlcul estructural, considerant diversos escenaris operatius. Es cercaran solucions que incorporin materials específics i possibles tractaments per optimitzar el rendiment i la durabilitat de la comporta. Posteriorment, es farà un predimensionament de la comporta, seguit d'una avaluació econòmica anticipada i una estimació dels terminis de fabricació. Es procedirà a la selecció de l'opció més viable, considerant factors tècnics i econòmics. El dimensionament precís de la comporta serà una etapa crucial, abastant aspectes com els procediments de fabricació (forja, mecanitzats, soldadura, etc.), la selecció de coixinets i el sistema de lubricació. Es desenvoluparan fulles del pla de mecanitzats, plànols detallats de les etapes de fabricació, així com plànols finals del conjunt de la comporta. S'hi inclourà un modelatge de la comporta amb una simulació de l'estat de tensions i deformacions, verificant les càrregues aplicades, el mallat i validant els resultats obtinguts mitjançant el dimensionament. Finalment, es presentarà un pressupost detallat que inclourà preus unitaris, definició de les unitats de treball i valoració, estat de mesuraments, pressupostos parcials i el pressupost total del projecte.

Paraules clau: Comporta; Enginyeria hidràulica; Caixa reductora; Canalització d'aigua; Forja.

ABSTRACT

It is proposed to carry out a detailed analysis of the design and dimensioning of a canal gate, considering key factors such as hydraulic load, fluid pressure and other relevant parameters. The proposed channel gate will be applied in hydraulic environments to manage and control water flow efficiently and safely. The sizing process will be carried out by applying principles of fluid mechanics, material resistance and current regulations. In the first instance, an exhaustive analysis of the loads to which the gate will be subjected will be carried out, both in static and dynamic conditions. This study will be carried out using structural calculation techniques, considering various operating scenarios. Solutions will be sought that incorporate specific materials and possible treatments to optimize the performance and durability of the gate. Subsequently, a pre-sizing of the gate will be carried out, followed by an advance economic evaluation and an estimate of the manufacturing deadlines. The most viable option will be selected, considering technical and economic factors. The precise sizing of the gate will be a crucial stage, covering aspects such as manufacturing procedures (forging, machining, welding, etc.), the selection of bearings and the lubrication system. Machining plan sheets, detailed drawings of the manufacturing stages, as well as final drawings of the gate assembly will be developed. A modeling of the gate will be included with a simulation of the state of stresses and deformations, verifying the applied loads, the meshing and validating the results obtained through sizing. Finally, a detailed budget will be presented that will include unit prices, definition of work units and their valuation, measurement status, partial budgets, and the total budget of the project.

Keywords: Gate; Hydraulic engineer; Reduction box; Water channeling; Forging.

Orden de documentos

1. Memoria descriptiva.
2. Anejo I: Cálculo estructural. Tablero y rigidizadores.
3. Anejo II: Cálculo estructural. Marco compuerta.
4. Anejo III: Cálculo de la Unión Tablero-Husillo.
5. Pliego de condiciones.
6. Planos.
7. Presupuesto.
8. Bibliografía.

Memoria

Contenido

1.	Introducción.....	12
1.1.	Antecedentes.....	12
1.2.	Objeto.....	12
1.3.	Alcance.....	12
2.	Las compuertas hidráulicas	12
2.1.	Estado del arte	12
2.2.	Tipos de compuertas	13
2.2.1.	Compuerta de mural o de fondo	13
2.2.2.	Compuerta de canal	13
2.2.3.	Compuerta Vagón	14
2.2.4.	Compuerta Taintor	15
2.2.5.	Compuerta tipo esclusa.....	15
2.2.6.	Compuerta Carterpillar.....	16
2.2.7.	Compuerta tipo clapeta	16
2.3.	Bases para selección de compuertas	17
3.	Normativa y estándares aplicables.....	18
4.	Análisis de alternativas y justificación	18
4.1.	Corrosión.....	18
4.1.1.	Corrosión atmosférica	18
4.1.2.	Corrosión galvánica	19
4.2.	Protección contra la corrosión	20
4.2.1.	Protección por recubrimiento.....	20
4.2.2.	Protección por electrólisis	20
4.2.3.	PROTECCION CATODICA.....	21
4.3.	Solución adoptada	22
4.4.	Análisis de alternativas de materiales	23
4.5.	Materiales seleccionados	24
4.6.	Análisis de alternativas de fabricación	24
4.7.	Procesos empleados	26
5.	Cálculo hidrostático y estructural.....	26
5.1.	Aplicación de normativa	26
5.2.	Cálculo hidrostático	27
5.3.	Cálculo estructural.....	28

5.3.1.	Número de rigidizadores horizontales y disposición	28
5.3.2.	Espesor de chapa	30
5.3.3.	Comprobación de perfiles de rigidizadores	33
6.	Fuerzas de operación.....	42
6.1.	Cálculo fuerzas de operación.....	42
6.1.1.	Peso y flotabilidad (G-E)	42
6.1.2.	Fuerza de rozamiento de juntas laterales (F_{VL} y F'_{VL})	43
6.1.3.	Fricción en las juntas debido a la desviación (F_{VDL})	44
6.2.	Cálculo fuerzas hidrodinámicas.....	45
6.2.1.	Velocidades (V_j)	45
6.2.2.	Método Knapp	48
6.2.3.	Método Naudascher, Kobus y Rao	50
6.2.4.	Resultados	52
6.3.	Cálculos totales	52
7.	Cálculo, comprobación y selección de husillo y tuerca	53
8.	Accionamiento	56
8.1.	Necesidades	56
8.2.	Manual con reductor	57
9.	Estructura marco.....	59
9.1.	Diseño y cálculo del marco.....	59
9.2.	Cálculos de fijación de los nudos.....	62
10.	Fijación en obra civil.....	66
10.1.	Introducción	66
10.2.	Diseño de los Anclajes.....	67
10.3.	Procedimiento de Anclaje.....	67
10.4.	Conclusión	67
11.	Tolerancias	68
12.	Análisis medioambiental.....	69
12.1.	Introducción	69
12.2.	Marco Legal	69
12.3.	Objetivo del Estudio	69
12.4.	Descripción del Proyecto	69
12.5.	Evaluación de Impacto Ambiental.....	70
12.5.1.	Identificación de Impactos:.....	70

Memoria

12.5.2.	Medidas de Mitigación:	70
12.5.3.	Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)	70
12.6.	Conclusiones	70
13.	Presupuesto.....	70
14.	Conclusión	71

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Compuerta de mural. ORIGEN: https://deymalamancha.es/equipos-hidromecanicos/compuerta-mural/	13
Ilustración 2. ORIGEN:Conjunto de compuertas de canal. https://maderplas.com/fabrica-de-compuertas-hidraulicas-plasticas-polipropileno-para-canal-de-riego-tipo-guillotina-plasticas-esclusa-hidraulica-para-represas-y-fluvial-pivotante-polipropileno-cotizar-compuerta-de-riego/	14
Ilustración 3. Compuerta Wagon. ORIGEN: https://www.orbinox.es/productos/equipos-hidromecanicos/compuerta-vagon	14
Ilustración 4. Compuerta Radial. ORIGEN: https://ingesur.es/productos/compuertas-taintor-de-aliviadero-y-canal/	15
Ilustración 5. Canal de Panamá. ORIGEN: https://elcapitalfinanciero.com/otro-record-para-las-nuevas-compuertas-del-canal/	15
Ilustración 6. Compuerta Carterpillar. ORIGEN: https://es.wikipedia.org/wiki/Compuerta_tipo_Stoney	16
Ilustración 7. Compuerta tipo clapeta. ORIGEN: http://www.bidapro.net/bidapro/de/clapeta-cfl-2.asp?nombre=2372&cod=2372&sesion=1	16
Ilustración 8. Ánodos de zinc. ORIGEN: https://clubnauticlarapita.com/index.php/2021/12/22/para-que-sirven-los-anodos-de-sacrificio/	21
Ilustración 9. Escultura de Cor-ten. ORIGEN: https://www.ideas.upv.es/viii-edicion-del-concurso-start-upv-campus-dalcoi/	22
Ilustración 10. Medidas del sello. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti	45
Ilustración 11. Fuerza aplicada para girar el volante. ORIGEN: SolidWorks.	58
Ilustración 14. Espesor de garganta de una soldadura. ORIGEN: UNE-EN 1993-1-8	63
Ilustración 15. Tensiones en la sección de una garganta. ORIGEN: UNE-EN 1993-1-8	63

Tabla de gráficas

Gráfica 1. Gráfica de compuertas de altas presiones. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti.	17
Gráfica 2. Gráfica de compuerta de control de flujo. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti.	18
Gráfica 3. Relación carga y deflexión del sello. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti	45
Gráfica 4. Velocidad a lo largo de la apertura de la compuerta.	48
Gráfica 5. Fuerza hidrodinámica por Knapp.....	49
Gráfica 6. Coeficiente hidrodinámico. ORIGEN: Hydrodynamic analysis for high-head leaf gates, Naudascher, Eduard Kobus, Helmut Rao, Ragam Pandu R.	50
Gráfica 7. Fuerzas hidrodinámicas Naudasher, Kobus y Rao.	51
Gráfica 8. Comparativa Knapp con Naudascher, Kobus y Rao.	52
Gráfica 9. Fuerza de accionamiento en cada punto de apertura.	53
Gráfica 10. Deformaciones numéricas a lo largo de la superficie del bulón. ORIGEN: SolidWorks.	86

Contenido de tablas

Tabla 1. Tabla comparativa de aceros. ORIGEN: Cálculo de equipos hidrodinámicos, Ricardo López Roldán.	24
Tabla 2. Tabla de resistencia de aceros de espesores entre 3 y 100mm. ORIGEN: Cálculo de equipos hidrodinámicos, Ricardo López Roldán.	24
Tabla 3. Coeficientes de seguridad. ORIGEN: NBR 8883.	26
Tabla 4. Tensiones admisibles para S-275JR para $e < 16\text{mm}$ según NBR 8883.....	27
Tabla 5. Tensiones admisibles para S-275JR de $e > 16\text{mm}$ según NBR 8883	27
Tabla 6. Resultados Cargas Hidrostáticas.	28
Tabla 7. Resultado Centro de Presiones.	28
Tabla 8. Disposiciones de los ejes y vanos de los rigidizadores.....	30
Tabla 9. Lista de comprobaciones de disposición de rigidizadores.	30
Tabla 10. Coeficiente adimensional k. ORIGEN: NBR 8883.	32
Tabla 11. Tensiones de compresión y tracción desde el centro del tablero.....	32
Tabla 12. Comparativa de la tensión crítica y la admisible.....	32
Tabla 13. Coeficiente propuesto por Timoshenko. ORIGEN: Cálculo de equipos hidrodinámicos, Ricardo López Roldán.....	33
Tabla 14. Comparativa de flecha admisible del tablero.	33
Tabla 15. Prontuario de perfiles IPN. ORIGEN: https://ingemecanica.com/utilidades/prontuario-de-perfiles-metalicos.html	36
Tabla 16. Prontuario de perfiles UPN. ORIGEN: https://ingemecanica.com/utilidades/prontuario-de-perfiles-metalicos.html	40
Tabla 17. Lista de coeficiente de rozamiento del acero con diferentes materiales. ORIGEN: Cálculo de equipos hidromecánicos, Ricardo López Roldán.....	43
Tabla 18. Coeficientes de rugosidad de diferentes materiales. ORIGEN: https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/FSL/07_Flujo_uniforme.pdf	46
Tabla 19. Longitud de apertura en base el porcentaje.	47
Tabla 20. Coeficiente de contracción del chorro de agua en función de la apertura de la compuerta.	47
Tabla 21. Velocidades en cada punto de apertura de la compuerta.	48
Tabla 22. Fuerza hidrodinámica en cada punto de apertura Knapp.	49
Tabla 23. Valores de K_b para cada punto de apertura.	50
Tabla 24. Fuerzas hidrodinámicas Naudascher, Kobus y Rao.	51
Tabla 25. Fuerza total en cada punto de apertura.	53
Tabla 26. Máximos de fuerza de apertura y cierre.....	53
Tabla 27. Prontuario de tuercas DIN 103. ORIGEN: http://www.baiz.net/es/productos-producto-estandar/ejemplo-dimensionado-conjunto-husillo-tuerca	55
Tabla 28. Presión cinemática de tuercas roscadas con sus coeficientes de fricción. ORIGEN: http://www.baiz.net/es/productos-producto-estandar/ejemplo-dimensionado-conjunto-husillo-tuerca	55
Tabla 29. Reductores manuales disponibles. ORIGEN: https://www.tecnopower.es/gatos-mecanicos-informacion-tecnica	58
Tabla 37. Coeficientes parciales de seguridad. ORIGEN: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf	64

Tabla 38. Resistencia a tracción de aceros. ORIGEN: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf	64
Tabla 39. Coeficiente de correlación para soldaduras. ORIGEN: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf	65
Tabla 40. Resultados de soldadura.	66
Tabla 41. Tolerancias a seguir. ORIGEN: DIN 8570.	69
Tabla 42. Desglose del presupuesto.	71

Tabla de figuras

Figura 1. Serie Galvánica. ORIGEN: “Materiales: Selección y comportamiento en servicio”	20
Figura 2. Unión Tablero con husillo.	25
Figura 3. Geometría de ejes y vanos de rigidizadores. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti	29
Figura 4. Cuadro de tensiones del tablero. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti	31
Figura 5. Vista del sello musical tipo “J” y medidas importantes. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti	44
Figura 6. Vista de perfil de la compuerta. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti	49
Figura 7. Factor de corrector para pandeo. ORIGEN: http://www.baiz.net/es/productos-producto-estandar/ejemplo-dimensionado-conjunto-husillo-tuerca .. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 8. Cálculo estructura. ORIGEN: SolidWorks.	61
Figura 9. Marco embebido en hormigón. ORIGEN: ORBINOX.	68
Figura 10. Vista de sección de fijación de compuerta. ORIGEN: ORBINOX.	68
Figura 11. Simulación SolidWorks del tablero sin rigidizadores. ORIGEN: SolidWorks.	74
Figura 12. Simulación en SolidWorks del tablero con rigidizadores, desplazamientos A. ORIGEN: SolidWorks.	75
Figura 13. Simulación en SolidWorks del tablero con rigidizadores, desplazamientos B. ORIGEN: SolidWorks.	75
Figura 14. Deformaciones totales en el marco. ORIGEN: SolidWorks.	80
Figura 15. Las deformaciones en el marco de la estructura definidos en diferentes programas de cálculo. ORIGEN: SolidWorks. Cype.	82
Figura 16. Unión Tablero-Husillo. ORIGEN: SolidWorks.	84
Figura 17. Aplicación de condiciones del modelo. ORIGEN: SolidWorks.	85
Figura 18. Vista de la pieza en simulación. ORIGEN: SolidWorks.	85
Figura 19. Vista del bulón en sección su deformación máxima. ORIGEN: SolidWorks.	86
Figura 20. Estado tensional Von Mises. ORIGEN: SolidWorks.	87

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Hoy en día, las compuertas hidráulicas se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde la gestión de recursos hídricos y la generación de energía hidroeléctrica hasta la protección contra inundaciones y la navegación. La tecnología de compuertas sigue avanzando, con la implementación de sistemas automatizados y el uso de materiales avanzados que mejoran la durabilidad y eficiencia de estas estructuras.

El desarrollo y perfeccionamiento de las compuertas hidráulicas a lo largo de la historia han sido fundamentales para el progreso de la gestión del agua y la infraestructura hidráulica. Este proyecto se inscribe en esta tradición de innovación, buscando aportar soluciones modernas y eficaces en el diseño y operación de compuertas hidráulicas para canales.

1.2. Objeto

Este documento corresponde al Trabajo Final de Grado (TFG) del estudiante Mohamed Ali Bouker Ajbar, matriculado en el Grado de Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica de Valencia, Campus de Alcoy. El objetivo de este trabajo es dimensionar, calcular y estudiar los métodos de fabricación de una compuerta hidráulica destinada al control fluvial de la acequia ubicada en Almoradí (Alicante). La estructura se construirá utilizando perfiles laminados de acero conforme a la normativa vigente y tendrá 10 metros de alto y 3.5 metros de ancho.

1.3. Alcance

El presente proyecto se centra exclusivamente en una compuerta hidráulica de canal ficticia, diseñada y calculada por el alumno, quien ha realizado las suposiciones y consideraciones necesarias para crear un sistema lo más realista posible. Quedando fuera de este la ejecución de la obra y montaje del proyecto.

2. Las compuertas hidráulicas

2.1. Estado del arte

El origen y evolución de las compuertas hidráulicas se desarrollaron en paralelo con la evolución de sistemas de riego, suministro de agua y navegación fluvial. Inicialmente, se utilizaban pequeñas presas para desviar el agua a canales de riego. Con el tiempo, se introdujeron las "presas móviles" que podían ser retiradas para permitir el paso de exceso de agua.

Las primeras compuertas y canales para transporte de mercancías y drenaje de aguas de inundación se construyeron en China. Los chinos desarrollaron sistemas para superar rápidos (secciones de un río o corriente de agua donde la corriente es rápida y turbulenta debido a una pendiente pronunciada en el lecho del río) de ríos, que evolucionaron hacia sistemas de esclusas.

Mientras en los Países Bajos y otros países europeos, las compuertas y esclusas se convirtieron en una solución común para el control de agua. La primera esclusa de América, el canal Little Falls, se completó en 1795.

Las primeras compuertas metálicas aparecieron alrededor de 1830, marcando un avance significativo en la capacidad de controlar grandes volúmenes de agua.

2.2. Tipos de compuertas

2.2.1. Compuerta de mural o de fondo

La compuerta mural recibe su nombre debido a que su panel está fijado a un muro (generalmente de hormigón armado en obras civiles). La compuerta mural ofrece estanqueidad en sus cuatro lados, es decir, cuenta con una junta perimetral que garantiza un cierre hermético, ya que el nivel del agua suele estar por encima de la parte superior del panel de la compuerta. Estas compuertas suelen tener una sección rectangular o cuadrada, aunque el hueco a cerrar puede ser de forma rectangular, cuadrada, circular u ovalada.



Ilustración 1. Compuerta de mural. ORIGEN: <https://deymalamancha.es/equipos-hidromecanicos/compuerta-mural/>

2.2.2. Compuerta de canal

En este tipo de compuerta para canal abierto, el marco generalmente está integrado en la estructura de la obra civil (muro de hormigón armado), aunque también es posible encontrar el marco anclado al muro de la obra civil. A diferencia de las compuertas murales, la estanqueidad se asegura en tres lados (los laterales y la parte inferior), ya que el nivel del agua siempre se mantiene por debajo de la parte superior del tablero.



Ilustración 2. ORIGEN:Conjunto de compuertas de canal. <https://maderplas.com/fabrica-de-compuertas-hidraulicas-plasticas-polipropileno-para-canal-de-riego-tipo-guillotina-plasticas-esclusa-hidraulica-para-represas-y-fluvial-pivotante-polipropileno-cotizar-compuerta-de-riego/>

2.2.3.Compuerta Vagón

Esta compuerta es parecida a la anterior, la única diferencia notable es su mayor anchura, por lo que generalmente se utilizan dos husillos para su accionamiento, aunque en algunos casos puede funcionar con un solo husillo. Además de tener juntas en los bordes perimetrales para asegurar la estanqueidad, los laterales suelen estar equipados con rodillos o ruedas. Esto reduce la fricción y el rozamiento al subir o bajar el tablero, permitiendo un funcionamiento más suave, especialmente cuando se manejan mayores pesos y cargas.



Ilustración 3. Compuerta Wagon. ORIGEN: <https://www.orbinox.es/productos/equipos-hidromecanicos/compuerta-vagon>

2.2.4. Compuerta Taintor

Las compuertas Taintor, también conocidas como compuertas radiales, son muy utilizadas en los vertederos de presas debido a su eficiencia en el manejo de grandes volúmenes de agua. Su diseño incluye una hoja curva que rota alrededor de un eje horizontal en la parte inferior, permitiendo un control preciso del flujo de agua. Originalmente operadas mediante cadenas y dispositivos mecánicos, hoy en día utilizan pistones hidráulicos o neumáticos para una operación más efectiva. Estas compuertas pueden abatirse verticalmente y algunas tienen secciones superiores abatibles para gestionar pequeños caudales y eliminar materiales flotantes. El diseño requiere una cámara para el abatimiento, lo que puede aumentar el volumen de hormigón necesario.



Ilustración 4. Compuerta Radial. ORIGEN: <https://ingesur.es/productos/compuertas-taintor-de-aliviadero-y-canal/>

2.2.5. Compuerta tipo esclusa

Las compuertas de esclusas son vitales para la navegación fluvial, permitiendo que los barcos superen diferencias de altura en canales y ríos. Operan en pares al principio y al final de la cámara de esclusa, regulando el nivel del agua para elevar o bajar embarcaciones. Estas compuertas, originalmente de madera y operadas manualmente, evolucionaron con la Revolución Industrial para ser de acero y operadas hidráulicamente. Su diseño robusto y estanqueidad son esenciales para soportar altas presiones y evitar fugas. Utilizadas en canales como el de Panamá y Suez.



Ilustración 5. Canal de Panamá. ORIGEN: <https://elcapitalfinanciero.com/otro-record-para-las-nuevas-compuertas-del-canal/>

2.2.6. Compuerta Carterpillar

Las compuertas Caterpillar, también conocidas como compuertas de rodillos, son empleadas principalmente en presas y sistemas de control de inundaciones. Estas compuertas consisten en una hoja que se desplaza verticalmente sobre un conjunto de rodillos, permitiendo un movimiento suave y eficiente. Son capaces de manejar grandes volúmenes de agua.



Ilustración 6. Compuerta Carterpillar. ORIGEN: https://es.wikipedia.org/wiki/Compuerta_tipo_Stoney

2.2.7. Compuerta tipo clapeta

Las compuertas tipo clapeta, también conocidas como compuertas de bisagra, se utilizan comúnmente en sistemas de control de agua para evitar el flujo inverso y regular el caudal. Estas compuertas consisten en una hoja que pivota alrededor de una bisagra en la parte superior o inferior, abriéndose y cerrándose con el flujo del agua. Diseñadas para ser simples y efectivas, las compuertas tipo clapeta se utilizan en desagües, canales y sistemas de alcantarillado.



Ilustración 7. Compuerta tipo clapeta. ORIGEN: <http://www.bidapro.net/bidapro/de/clapeta-cfl-2.asp?nombre=2372&cod=2372&sesion=1>

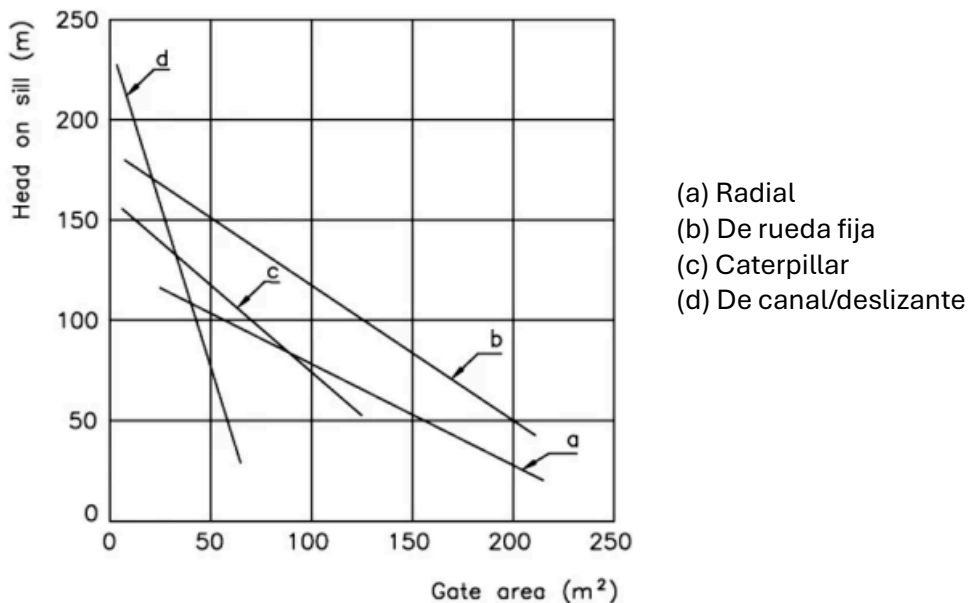
2.3. Bases para selección de compuertas

La selección de una compuerta hidráulica adecuada para un proyecto específico depende de varios factores clave que deben ser cuidadosamente evaluados. En primer lugar, es esencial considerar las condiciones hidráulicas, incluyendo la altura y presión del agua, así como el caudal que debe ser regulado. En este caso, la compuerta se sitúa en una canal de 4 metros de nivel de agua con un ancho de 3.5 metros y una pendiente de mil por cien. Más adelante se expresarán los cálculos de la presión y caudal del agua. Los materiales y la durabilidad de la compuerta son igualmente importantes, especialmente en términos de resistencia a la corrosión, facilidad de mantenimiento y vida útil.

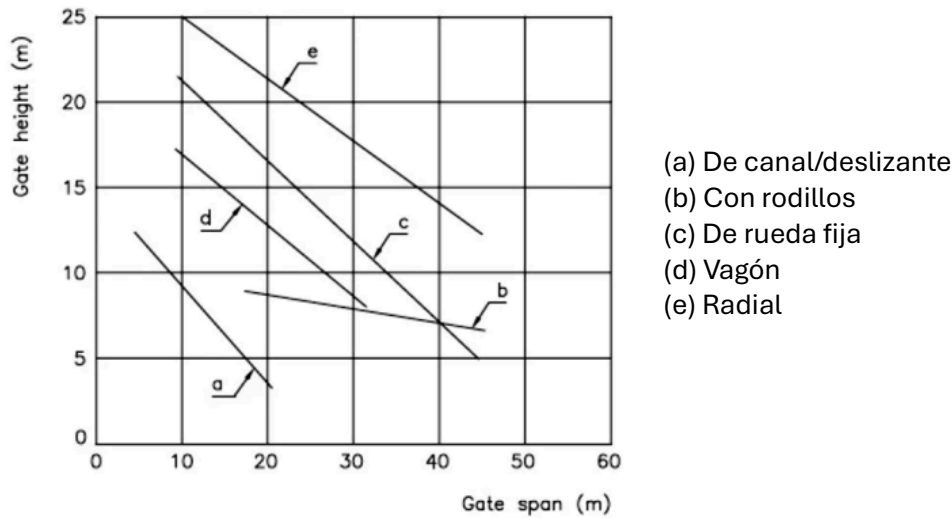
El espacio disponible y las condiciones del terreno donde se instalará la compuerta también influyen en la selección, así como la accesibilidad para la operación y el mantenimiento. Los costos iniciales, de mantenimiento y operativos deben ser considerados para asegurar la viabilidad económica del proyecto. Con todo lo anterior mencionado, se podría seleccionar el tipo de compuerta necesaria en base de la Gráfica 1. Gráfica de compuertas de altas presiones. y Gráfica 2. Gráfica de compuerta de control de flujo. donde están en función de la altura de lámina del agua (4 metros), el área del tablero (A) y ancho de la compuerta (b).

$$A = b \cdot a = 3.5[m] \cdot 5[m]' = 17.5[m^2]$$

'la altura de la lámina de agua es de 4 metros pero se dimensiona el tablero de 1 metro mas de alto para el paso de residuos.



Gráfica 1. Gráfica de compuertas de altas presiones. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti.



Gráfica 2. Gráfica de compuerta de control de flujo. ORIGEN:
Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti.

Visto las gráficas anteriores se selecciona la compuerta tipo de canal/deslizante.

3. Normativa y estándares aplicables

El desarrollo de la compuerta hidráulica de canal deberá cumplir con las siguientes normativas y estándares aplicables:

- DIN 19704
- NBR 8883
- AWWA-C561
- EA-95
- Código estructural para estructuras de acero

4. Análisis de alternativas y justificación

4.1. Corrosión

La corrosión es un fenómeno de constante interés y relevancia tecnológica debido a las significativas pérdidas económicas que provoca, tanto de manera directa, afectando la integridad de las estructuras y equipos, como de manera indirecta, generando costos adicionales en mantenimiento, reparaciones y reemplazos. Su estudio y control son esenciales para prolongar la vida útil de los materiales y minimizar el impacto financiero asociado. Se definirán los diferentes casos de corrosión y diferentes métodos para mitigarlo.

4.1.1. Corrosión atmosférica

La corrosión atmosférica es causada principalmente por la acción del oxígeno presente en el aire sobre la superficie del metal. Este proceso corrosivo afecta toda la superficie

expuesta o una gran área del material, lo que resulta en una disminución gradual del espesor del metal hasta que eventualmente falla. La durabilidad de un equipo o estructura puede predecirse mediante ensayos específicos.

Varios factores influyen en la corrosión atmosférica, incluyendo:

- a. La presencia de exceso de oxígeno.
- b. Humedad relativa.
- c. Temperatura.
- d. Contaminantes.

Para controlar la corrosión atmosférica, se pueden emplear diversas técnicas, tales como:

- a. Recubrimientos
- b. Inhibidores
- c. Protección catódica

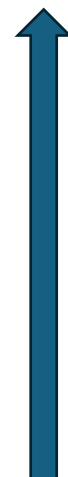
Estos métodos son esenciales para prolongar la vida útil de los materiales y garantizar la seguridad y funcionalidad de las estructuras y equipos en ambientes expuestos a la atmósfera.

4.1.2. Corrosión galvánica

La corrosión electroquímica, también conocida como corrosión galvánica, ocurre cuando dos metales con diferentes niveles de electronegatividad están en contacto directo. En este proceso, el metal con mayor electronegatividad actúa como el ánodo y se oxida, lo que provoca su deterioro progresivo y el desprendimiento del material desde su superficie. Este fenómeno se produce en presencia del segundo metal, que actúa como el cátodo. Este tipo de corrosión es particularmente importante en ambientes húmedos o mojados donde el electrolito facilita el flujo de corriente entre los dos metales, acelerando así la corrosión del ánodo.

La serie galvánica es una disposición de los metales ordenados según sus potenciales electroquímicos o su nobleza. En esta serie, los metales más nobles (con mayor resistencia a la corrosión y oxidación) se encuentran en la parte superior, mientras que los menos nobles (más activos y propensos a sufrir corrosión) están en la parte inferior. Aquí está la serie galvánica con algunos valores numéricos de potencia:

Grafito
Platino
Oro
Plata
Titanio
Acero inoxidable 316
Acero inoxidable 304
Bronce
Latón
Cromo
Níquel
Cobre



+ Nobles

Memoria

Hierro fundido
Acero
Plomo
Estaño
Aluminio
Zinc
Magnesio

Figura 1. Serie Galvánica. ORIGEN: “Materiales: Selección y comportamiento en servicio”.

4.2. Protección contra la corrosión

4.2.1. Protección por recubrimiento

La protección por recubrimiento consiste en aplicar una capa superficial o barrera que aísla el metal del entorno. Este método es uno de los más evidentes y efectivos, ya que previene el contacto del material sensible con el oxígeno y la humedad, los cuales son principales agentes de corrosión. Dentro de esta categoría de protección, se pueden distinguir dos tipos principales de recubrimientos: no metálicos y metálicos.

Los recubrimientos metálicos se pueden aplicar mediante varios procesos, entre los que destacan:

- a. Por electrólisis (cromado, galvanizado, niquelado y cobreado).
- b. Por Inmersión (galvanización y estañado).
- c. Por metalización CVD, PVD.

Estos recubrimientos metálicos no solo protegen al metal base de la corrosión, sino que también pueden mejorar sus propiedades estéticas y mecánicas, prolongando así su vida útil y desempeño en condiciones adversas.

4.2.2. Protección por electrólisis

La electrólisis, también conocida como electrodeposición, es un proceso mediante el cual se hace pasar una corriente eléctrica a través de dos metales diferentes que están inmersos en una solución conductora denominada electrolito. Este proceso se utiliza para crear una capa protectora sobre uno de los metales, protegiéndolo de la oxidación y otros tipos de corrosión. En este procedimiento, el metal que se desea proteger actúa como cátodo, mientras que el otro metal, que servirá como fuente del recubrimiento, actúa como ánodo. Cuando se aplica la corriente eléctrica, los iones metálicos del ánodo se disuelven en el electrolito y se depositan sobre la superficie del cátodo. Este depósito forma una película protectora que cubre completamente el metal cátodo, impidiendo así que entre en contacto directo con el oxígeno y la humedad del ambiente, factores que promueven la oxidación.

Este método es especialmente valioso para la protección de componentes metálicos en ambientes hostiles, donde la exposición constante a agentes corrosivos puede comprometer la integridad estructural y funcional del metal. Además, la electrodeposición permite un control preciso del espesor del recubrimiento, lo que es crucial para aplicaciones donde se requiere una protección uniforme y consistente.

4.2.3. Protección catódica

La protección catódica es una técnica utilizada para prevenir la corrosión de metales en ambientes corrosivos. Existen dos métodos principales para lograr esta protección: el uso de ánodos de sacrificio y el aislamiento eléctrico de los metales.

Ánodo de sacrificio: Esta técnica consiste en conectar el metal que se desea proteger con otro metal más activo, que se oxidará en su lugar, actuando como ánodo de sacrificio. Los metales comúnmente utilizados para esta técnica son el magnesio, el zinc y el aluminio. Al corroerse el ánodo de sacrificio, protege el metal en contacto, evitando que este se oxide.

Aislamiento eléctrico de los metales: Esta solución implica el uso de materiales aislantes para separar eléctricamente dos metales, impidiendo así la formación de una celda galvánica. Si no hay contacto eléctrico entre los metales, no puede haber corrosión galvánica. Dependiendo del tipo de metal y su aplicación, se utilizarán diferentes aislantes. Es común el uso de plásticos como aislantes para metales en contacto con el agua, o capas de grasa para separar metales como el aluminio y el acero.

Ambos métodos son efectivos para proteger estructuras metálicas en diversas condiciones ambientales, prolongando su vida útil y asegurando su funcionalidad.

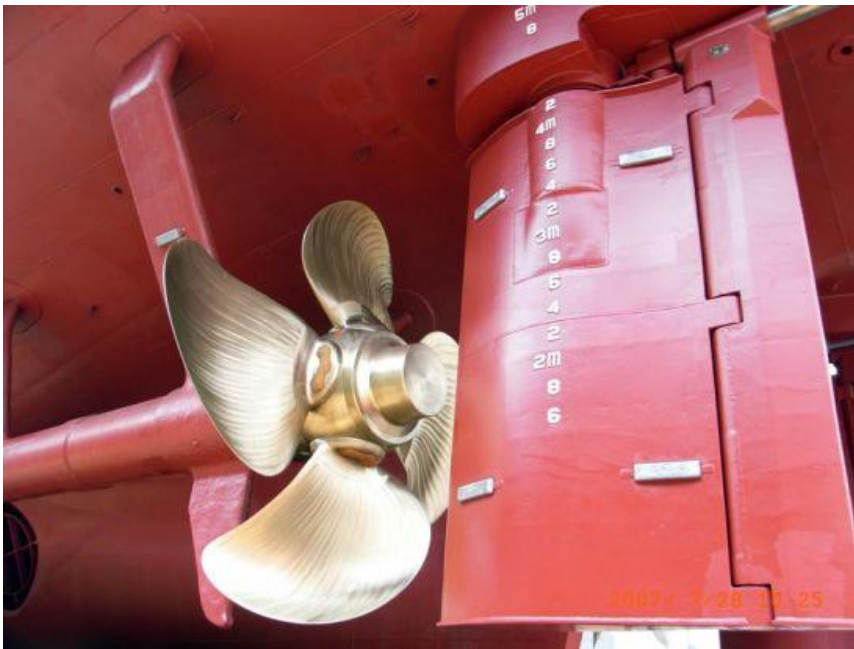


Ilustración 8. Ánodos de zinc. ORIGEN: <https://clubnauticlarapita.com/index.php/2021/12/22/para-que-sirven-los-anodos-de-sacrificio/>

4.2.3.1. Acero Cor-ten

Además, se ha considerado el uso del acero COR-TEN, un material que, gracias a su composición química especial, desarrolla una capa de óxido que actúa como protección frente a la corrosión atmosférica sin comprometer significativamente sus propiedades mecánicas.

Sin embargo, la utilización del acero COR-TEN en la construcción presenta varios desafíos. Es crucial garantizar que las soldaduras se desgasten o corroan al mismo ritmo que el resto del material, lo cual puede requerir técnicas de soldadura o materiales específicos. Aunque el acero COR-TEN es resistente a la corrosión, no es completamente inmune al óxido. Si se permite que el agua se acumule en hendiduras o bolsillos, esas áreas experimentarán una mayor tasa de corrosión, por lo que es esencial prever un adecuado drenaje. Por lo que se descarta el uso de este material.



Ilustración 9. Escultura de Cor-ten. ORIGEN: <https://www.ideas.upv.es/viii-edicion-del-concurso-start-upv-campus-dalcoi/>

4.3. Solución adoptada

Se han identificado los inconvenientes asociados con la instalación de una compuerta hidráulica a la intemperie y se han propuesto posibles soluciones para la protección de los materiales. La solución adoptada para proteger la compuerta de la corrosión atmosférica implica la combinación de recubrimientos protectores y el uso de anillos aislantes para evitar la corrosión galvánica.

Recubrimientos protectores: Para prevenir el contacto directo del metal con el oxígeno y la humedad, se aplicarán recubrimientos protectores sobre todas las superficies expuestas de la compuerta. Hay que tener en cuenta que hay que aplicar una capa previa de imprimación antioxidante y posteriormente esmalte sintético a color como acabado de protección.

Anillos aislantes: Para evitar la corrosión galvánica, se utilizarán anillos aislantes que separen eléctricamente diferentes metales en contacto. Estos anillos aseguraran que no haya contacto eléctrico directo, previniendo la formación de celdas galvánicas. Se emplearán materiales poliméricos como aislantes para metales en contacto con el agua. Los polímeros proporcionan una barrera efectiva que impide la transferencia de corriente eléctrica entre metales diferentes.

La combinación de recubrimientos protectores y el uso de anillos aislantes garantizará una protección integral contra la corrosión atmosférica y galvánica. Esta solución no solo prolongará la vida útil de la compuerta hidráulica, sino que también asegurará su funcionalidad y eficiencia en condiciones de exposición a la intemperie.

4.4. Análisis de alternativas de materiales

La elección del material para una compuerta hidráulica es crucial para garantizar su durabilidad, resistencia y eficacia. Los materiales para elegir en este apartado son los empleados para todos los elementos de la compuerta excepto de la tuerca-husillo y la junta de estanqueidad, que serán seleccionados en sus respectivos apartados. En este ámbito el material a utilizar (y más utilizado) es el acero estructural y a continuación, se comparan cuatro tipos de acero estructural comúnmente utilizados: S-235, S-275, S-355 y S-450.

En primer lugar, el acero estructural S-235 es un material de bajo carbono con una resistencia mínima a la tracción de 235 MPa. Este tipo de acero presenta varias ventajas, tales como su facilidad de trabajo y soldadura, así como su bajo costo. Por lo tanto, es adecuado para aplicaciones donde las cargas no son extremadamente altas. Sin embargo, una desventaja significativa es su menor resistencia en comparación con otros aceros estructurales, lo que puede limitar su uso en compuertas sometidas a grandes presiones o cargas dinámicas.

En segundo lugar, el acero estructural S-275, con una resistencia mínima a la tracción de 275 MPa, ofrece una mayor resistencia que el S-235. Este material también es conocido por su buena soldabilidad y trabajabilidad, lo que lo hace adecuado para aplicaciones con cargas moderadas. No obstante, aunque el S-275 tiene una resistencia mejorada, todavía puede no ser suficiente para compuertas que requieren soportar grandes fuerzas.

Por otro lado, el acero estructural S-355, que posee una resistencia mínima a la tracción de 355 MPa, es notable por su alta resistencia y durabilidad. Además, mantiene buenas propiedades de soldabilidad y trabajabilidad, lo que lo hace ideal para compuertas que deben soportar cargas significativas y condiciones adversas. Sin embargo, su costo es más elevado en comparación con el S-235 y S-275, aunque ofrece un mejor rendimiento estructural.

Finalmente, el acero estructural S-450, con una resistencia mínima a la tracción de 450 MPa, proporciona la máxima resistencia y durabilidad entre los materiales comparados. Este acero es adecuado para compuertas sometidas a las cargas más extremas y condiciones operativas difíciles. A pesar de sus beneficios, el S-450 tiene un mayor costo y una mayor dificultad de trabajo y soldadura en comparación con los otros aceros estructurales, lo que puede ser excesivo para aplicaciones que no requieren niveles tan altos de resistencia.

Material	Tensión de rotura (N/mm ²)	Soldabilidad	Costo
S-235	BAJO	BUENA	BAJO
S-275	MEDIO	BUENA	MEDIO
S-355	MEDIO	MEDIA	ALTO
S-450	ALTO	MALA	ALTO

Tabla 1. Tabla comparativa de aceros. ORIGEN: Cálculo de equipos hidrodinámicos, Ricardo López Roldán.

Acero al carbono 3<e<100		
Grado		Tensión de rotura
DIN	UNE EN 10025	N/mm ²
St. 37.2	S-235	360
St. 44.2	S-275	410
St. 52.3	S-355	470
	S-450	550

Tabla 2. Tabla de resistencia de aceros de espesores entre 3 y 100mm. ORIGEN: Cálculo de equipos hidrodinámicos, Ricardo López Roldán.

4.5. Materiales seleccionados

En conclusión, la selección del material adecuado para una compuerta hidráulica debe basarse en las condiciones operativas y los requisitos de carga específicos del proyecto. El acero S-235 es una opción económica y fácil de trabajar, ideal para aplicaciones de baja carga. El S-275 ofrece un buen equilibrio entre costo y resistencia, siendo adecuado para aplicaciones de carga moderada. Por su parte, el S-355 proporciona alta durabilidad y capacidad de carga, perfecto para condiciones más exigentes. Finalmente, el S-450 es la mejor opción para condiciones extremas, proporcionando máxima resistencia y durabilidad, aunque a un costo mayor. Cada tipo de acero tiene sus ventajas y desventajas, y la decisión final debe garantizar que la compuerta sea funcional, duradera y rentable, adecuada para las condiciones operativas previstas.

En este proyecto, se ha seleccionado el acero S-275JR debido a su equilibrio óptimo entre costo y resistencia, lo que lo hace ideal para las cargas moderadas esperadas en la compuerta hidráulica. Esta elección asegura que la compuerta sea funcional, duradera y rentable, adecuada para las condiciones operativas previstas. Cada tipo de acero tiene sus ventajas y desventajas, y la selección del S-275JR garantiza una solución efectiva y económica para este diseño específico.

4.6. Análisis de alternativas de fabricación

El análisis de alternativas de fabricación es crucial para determinar el método más eficiente, seguro y económico para la construcción de la compuerta hidráulica. Este apartado evalúa diferentes procesos de fabricación, con un enfoque particular en el proceso de soldadura, los diferentes métodos de soldadura disponibles y el mecanizado de las piezas de unión de husillo con tablero. A continuación, se analizan varios métodos de soldadura que podrían aplicarse:

El método de **Soldadura por Arco Metálico con Gas (GMAW/MIG)**, tiene como ventajas su alta velocidad de soldadura, siendo adecuada para materiales de diferente grosor y ofreciendo una buena calidad de soldadura con menos salpicaduras. Sin embargo, requiere equipos especializados y una fuente constante de gas de protección, lo que no lo hace ideal para exteriores debido a la sensibilidad al viento. Mientras que la **Soldadura por Arco Metálico Blindado (SMAW/Stick)**, es un método versátil que puede usarse en condiciones exteriores adversas y tiene un menor costo inicial de equipo. No obstante, es más lenta que la soldadura MIG y produce más salpicaduras y escoria que requiere limpieza. Por otro lado, se encuentra la **Soldadura TIG (Gas Tungsteno)**; este método proporciona una alta calidad de soldadura, especialmente en materiales delgados y no ferrosos, ofreciendo soldaduras limpias y precisas. Sin embargo, es lenta y requiere alta habilidad del operador, además de tener un mayor costo operativo.

Las piezas de unión son componentes críticos que requieren una precisión dimensional exacta para asegurar un ajuste adecuado y la integridad estructural de la compuerta. Se puede observar en la Figura 2. Unión Tablero con husillo. cómo es la geometría donde se detallará más adelante con planos su funcionamiento.

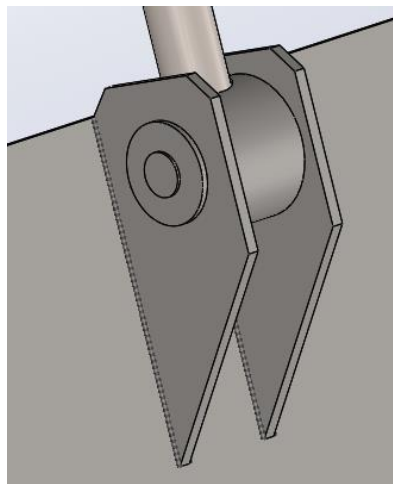


Figura 2. Unión Tablero con husillo.

El proceso de fundición implica derretir y moldear metal para crear componentes específicos, lo que permite personalizar las piezas según las necesidades del diseño. Alternativamente, comprar la materia prima ya fabricada, como barras de acero, puede ser más rápido y económico, garantizando calidad estándar y reduciendo tiempos de producción y costos iniciales en la fabricación del mecanismo de unión. Por lo que, evidentemente para un solo encargo de prototipo se optará por comprar la materia prima para continuar con procesos de post fabricación, como el mecanizado en sí.

El proceso de mecanizado incluye las siguientes etapas:

Fresado: Proceso de corte para crear superficies planas y precisas en las piezas de unión.

Corte: Uso de sierras o cortadoras para dar forma inicial a las piezas según las dimensiones especificadas.

Taladrado: Perforación de agujeros precisos para pernos y otros elementos de fijación.

Cilindrado y Acabado: Proceso de torneado para asegurar superficies cilíndricas precisas y un acabado superficial adecuado.

El uso de máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) es preferido para el mecanizado de estas piezas debido a su alta precisión y repetibilidad, lo que garantiza que las piezas de unión cumplan con las tolerancias estrictas requeridas.

4.7. Procesos empleados

Para la fabricación de la compuerta hidráulica, se recomienda el uso del proceso de soldadura MIG (GMAW) debido a su alta velocidad de soldadura y la calidad del acabado. Este método es adecuado para el tipo de materiales utilizados (acero S-275JR) y proporciona un equilibrio óptimo entre eficiencia y calidad. Y el uso de mecanizado CNC para las piezas de unión representa la alternativa más eficiente y adecuada para la fabricación de la compuerta hidráulica.

Estas técnicas no solo aseguran la alta calidad y durabilidad del producto final, sino que también optimizan los costos y tiempos de producción. La implementación de estos métodos garantiza que la compuerta hidráulica operará de manera segura y eficaz, cumpliendo con todos los requisitos técnicos y normativos.

5. Cálculo hidrostático y estructural

5.1. Aplicación de normativa

En este apartado se define los valores de seguridad permitidos por la normativa y por el material seleccionado (S-275JR). No obstante, se probará a realizar el cálculo con otros materiales más resistentes si el dimensionado no es el correcto o admisible.

Se aplicará la tabla de coeficientes para el minorado de las tensiones de seguridad de la compuerta estipulados por la norma NBR 8883 del 1996, ya que los valores de la revisión de 2002 son ambiguos y menos conservadores. Y para este cálculo de dimensionamiento del tablero se tomarán los valores para el caso de carga "Normal".

NRB 8883			
Coeficientes de seguridad para componentes estructurales			
Tipo de tensión	Caso de carga		
	Normal	Ocasional	Excepcional
Tensiones y esfuerzos a flexión	0,68	0,76	0,89
Esfuerzo de flexión cuando se requiere comprobación de estabilidad elástica	0,59	0,68	0,79
Esfuerzo cortante	0,39	0,44	0,51
Esfuerzo combinado	0,76	0,82	0,92
Esfuerzo combinado en la palanca o lámina (chapa de la tajadera)	0,87	0,87	0,92

Tabla 3. Coeficientes de seguridad. ORIGEN: NBR 8883.

Por lo que, para el material seleccionado y espesor menor de 16 mm se obtendría la siguiente tabla:

Coeficientes de seguridad para componentes estructurales mayorado			
Tipo de tensión	Caso de carga		
	Normal	Ocasional	Excepcional
Tensiones y esfuerzos a flexión	187	209	244,75
Esfuerzo de flexión cuando se requiere comprobación de estabilidad elástica	162,25	187	217,25
Esfuerzo cortante	107,25	121	140,25
Esfuerzo combinado	209	225,5	253
Esfuerzo combinado en la palanca o lámina (chapa de la tajadera)	239,25	239,25	253

Tabla 4. Tensiones admisibles para S-275JR para $e < 16\text{mm}$ según NBR 8883.

Y para el caso de tener que emplear un espesor mayor de 16 mm, se emplearía la siguiente tabla:

Coeficientes de seguridad para componentes estructurales mayorado			
Tipo de tensión	Caso de carga		
	Normal	Ocasional	Excepcional
Tensiones y esfuerzos a flexión	173,4	193,8	226,95
Esfuerzo de flexión cuando se requiere comprobación de estabilidad elástica	150,45	173,4	201,45
Esfuerzo cortante	99,45	112,2	130,05
Esfuerzo combinado	193,8	209,1	234,6
Esfuerzo combinado en la palanca o lámina (chapa de la tajadera)	221,85	221,85	234,6

Tabla 5. Tensiones admisibles para S-275JR de $e > 16\text{mm}$ según NBR 8883

5.2. Cálculo hidrostático

El cálculo hidrostático consta de las cargas que actúan en el tablero de la propia compuerta en estado reposo. En este caso solo existen fuerzas a un lado de la compuerta, estando la otra cara seca.

El principio básico del cálculo hidrostático se basa en la Ley de Pascal, que establece que la presión ejercida por un fluido en reposo es igual en todas las direcciones y aumenta linealmente con la profundidad. La presión en un punto dado dentro del fluido se calcula mediante la fórmula:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

donde:

P= Presión hidrostática (kN/m^2)

P= Densidad del fluido (para el agua, aproximadamente 981 kp/m^3),

G= Aceleración debida a la gravedad (aproximadamente 9.81 m/s^2),

h= profundidad del punto considerado bajo la superficie del agua.

La fuerza hidrostática total ejercida sobre la superficie de la compuerta se calcula integrando la presión sobre toda el área sumergida. Para una compuerta rectangular vertical, esta fuerza se determina mediante la fórmula:

Cargas hidrostáticas	γ	9,81	kN/m ³
$W = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot H^2$	B	3,5	m
	H	4	m
	W=	274,68	kN

Tabla 6. Resultados Cargas Hidrostáticas.

donde:

W= Fuerza hidrostática total(kN)

H= Altura de lámina de agua (m)

B= Ancho de la compuerta (m)

γ = Peso específico del agua (kN/m³)

El punto de aplicación de la fuerza hidrostática, también conocido como el centro de presión, no coincide con el centro geométrico de la compuerta. Para una compuerta rectangular vertical, el centro de presión se encuentra a una altura de:

Centro de presiones			
$e = \frac{1}{3} \cdot H$	H	4	m
	e	1,33	m

Tabla 7. Resultado Centro de Presiones.

Obteniendo así una carga de 274,68kN de carga aplicada a la altura de 1,33m desde la base de la compuerta.

5.3. Cálculo estructural

5.3.1. Número de rigidizadores horizontales y disposición

Debido a las dimensiones de la compuerta (5mx3,5m), los espesores del tablero serán muy elevados para soportar las cargas hidrostáticas, aumentando así peso y costo. Por lo que se optará por una solución de implementar rigidizadores horizontales en el tablero para obtener más rigidez estructural. Consiguiendo así reducir el espesor del tablero y reducir costes. En este apartado se calculará el número de rigidizadores y su disposición ya que se dispondrá por una disposición no simétrica para favorecer la resistencia de la estructura.

Por ello se aplicará la siguiente expresión para hallar el número de rigidizadores necesarios:

$$N = \frac{100 \cdot h}{t} \cdot \sqrt{\frac{H_m}{2 \cdot \sigma_{adm}}} \quad (2)$$

t = Espesor de la chapa. En este caso se tomará 8mm como punto de partida

H_m = Altura de lámina de agua hasta el centro geométrico del tablero

σ_{adm} = Tensión admisible para esfuerzo a flexión

h = Altura de compuerta

Llegando así a necesitar 5 rigidizadores en total.

$$N = \frac{100 \cdot 5}{8} \cdot \sqrt{\frac{2,5}{2 \cdot 187}} = 5,1 \cong 5 \text{ rigidizadores}$$

Como ya se comentó anteriormente, los rigidizadores no estarán situados simétricamente, por lo que las posiciones en las que se instalaran se calculan las alturas desde la altura de la lámina de agua hasta la parte inferior de cada rigidizador (h_k) y su eje (y_k).

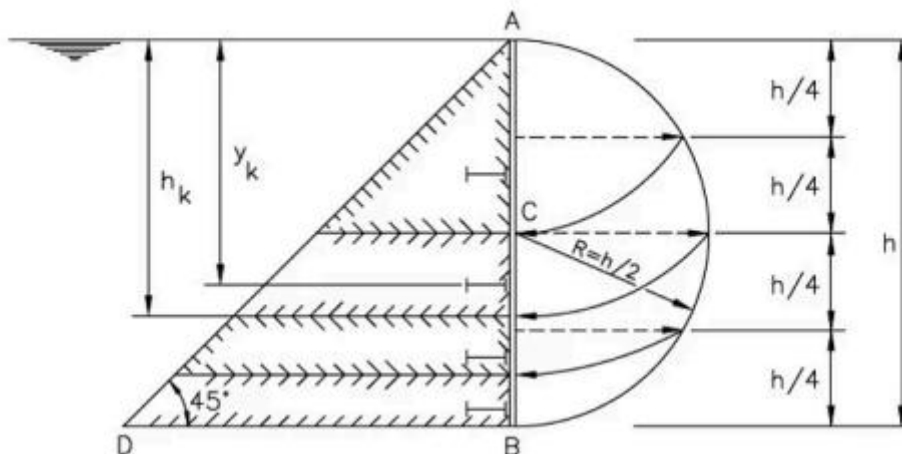


Figura 3. Geometría de ejes y vanos de rigidizadores. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti

Siendo n el número de rigidizadores totales y K el número del rigidizador calculado, con las siguientes expresiones se calcula el valor de la distancia para cada rigidizador:

$$h_k = h \cdot \sqrt{\frac{K}{n}} \quad (3)$$

$$y_k = \frac{2 \cdot h}{3 \cdot \sqrt{n}} \cdot [K^{\frac{3}{2}} - (K - 1)^{\frac{3}{2}}] \quad (4)$$

Obteniendo así la siguiente tabla de disposiciones:

Memoria

yk (m)	hk (m)	K
1,490711985	2,236067977	1
2,725658229	3,16227766	2
3,529596479	3,872983346	3
4,179729188	4,472135955	4
4,740970787		5

Tabla 8. Disposiciones de los ejes y vanos de los rigidizadores.

Con respecto a los rigidizadores verticales se optará por una única pletina situada en el centro del tablero, obteniendo así los siguientes módulos:

- b= dimensión horizontal= Base/2=1,75m
- a= dimensión vertical= Separación entre rigidizadores horizontales (h_k), en la que interviene la fuerza resultante de la presión hidrostática= 599,15mm

Ya teniendo descrito el número y disposiciones de todos los rigidizadores, tanto horizontales como verticales solo haría falta realizar comprobaciones y recomendaciones siguientes:

1. Las separaciones de rigidizadores horizontales sean mayores que la de los verticales.
2. La relación entre la base y la altura de las divisiones sea mayor que 2.
3. La tensión de fluencia escogida sea la tensión minorada.
4. La separación entre los rigidizadores sea de al menos de 300 mm para la soldabilidad de la estructura.

b/a-->2,25	VALIDEZ RIGIDAZORES
1. vertical<horizontal	CUMPLE
2. relación>2	CUMPLE
3. Tens adm	CUMPLE
4. Espacio para soldadura	CUMPLE

Tabla 9. Lista de comprobaciones de disposición de rigidizadores.

5.3.2. Espesor de chapa

La norma NBR-8883 y la alemana DIN-19704 proponen la siguiente ecuación para el cálculo del estado biaxial de los elementos fijos de la compuerta:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad (5)$$

σ_x = Suma de tensiones en el eje x

σ_y = Suma de tensiones en el eje y

τ_{xy} = Tensión cortante en el plano perpendicular del eje x e y.

Aunque para el tablero, la norma brasileña presenta la siguiente ecuación de las tensiones generadas por la fuerza hidrostática basada en la teoría de la elasticidad, para la comprobación a resistencia E.L.S, la cual es la que vamos a emplear:

$$\sigma = \pm \frac{k}{100} \cdot p \cdot \frac{a^2}{t^2} \quad (6)$$

K= Factor adimensional según la Tabla 10. Coeficiente adimensional k. ORIGEN: NBR 8883.

p= Presión relativa al centro del módulo de estudio (MPa)

a= Lado menor del módulo (599,15mm)

t= Espesor de chapa seleccionado, en este caso 8mm

La presión relativa se halla mediante la siguiente expresión:

$$p = \gamma \cdot H \quad (7)$$

γ = Peso específico del agua (0,00000981 N/mm³)

H= Altura de lámina del agua al centro del módulo de estudio (2666,66mm)

$$p = 0,00000981 \cdot 2666,66 = 0,02616MPa$$

El objetivo del cálculo es hallar los diferentes valores de tracción y compresión referidos desde el centro del tablero, estos valores varían por el valor k adimensional aportado por la normativa, que dependen del tipo de apoyo propuestos por la norma DIN-19704 (en este caso cuatro lados rígidos) y la relación de base y altura (2,92) calculado anteriormente.

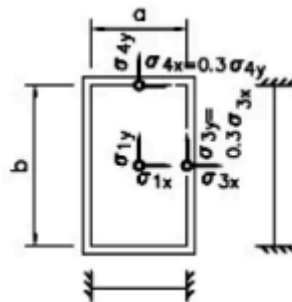


Figura 4. Cuadro de tensiones del tablero. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti

Coeficiente "k"														
b/a	$\pm\sigma_1$ xA	$\pm\sigma_1$ yA	$\pm\sigma_1$ xB	$\pm\sigma_1$ yB	$\pm\sigma_4$ yB	$\pm\sigma_3$ xB	$\pm\sigma_1$ xC	$\pm\sigma_1$ yC	$\pm\sigma_4$ yC	$\pm\sigma_3$ xC	$\pm\sigma_1$ xD	$\pm\sigma_1$ yD	$\pm\sigma_2$ yD	$\pm\sigma_3$ xD
10	75	22,5	25	7,5	34,2	50	37,5	11,3	47,2	75	25	7,5	34,2	50
3	71,3	24,4	25	7,5	34,3	50	37,4	12	47,1	74	25	7,6	34,2	50
2,5	67,7	25,8	25	8	34,3	50	36,6	13,3	47	73,3	25	8	34,2	50
2	61	27,8	24,7	9,5	34,3	49,9	33,8	15,5	47	68,3	25	9	34,2	50
1,75	55,8	28,9	23,9	10,8	34,3	48,4	30,8	16,5	46,5	63,2	24,6	10,1	34,1	48,9
1,5	48,7	29,9	22,1	12,2	34,3	45,5	27,1	18,1	45,5	56,5	23,2	11,4	34,1	47,3
1,25	39,6	30,1	18,8	13,5	33,9	40,3	21,4	18,4	42,5	47,2	20,8	12,9	34,1	44,8
1	28,7	28,7	13,7	13,7	30,9	30,9	14,2	16,6	36	32,8	16,6	14,2	32,8	36

4 lados articulados | 4 lados rígidos | 3 lados rígidos y 1 lateral articulado | 3 lados rígidos y 1 superior articulado

Tabla 10. Coeficiente adimensional k. ORIGEN: NBR 8883.

Con los valores definidos se halla la siguiente tabla son los estados tensionales desde el centro del tablero, siendo tracción con signo positivo y compresión con signo negativo.

k	Tensiones obtenidas (MPa)	
25	σ_{1x}	36,683662
7,5	σ_{1y}	11,0050986
0	σ_{2x}	0
0	σ_{2y}	0
50	σ_{3x}	-73,3673241
0	σ_{3y}	-22,0101972
0	σ_{4x}	-15,0989953
34,3	σ_{4y}	-50,3299843

Tabla 11. Tensiones de compresión y tracción desde el centro del tablero.

Con la tabla previa se selecciona la tensión más crítica y se compara con los valores permisibles por la norma, si dichos valores superan las tensiones obtenidas se puede decir que se ha dimensionado correctamente el espesor del tablero, sino habrá que subir el espesor hasta que sea correcto.

	1998	2002
σ_{3x}	σ_{adm}	σ_{adm}
73,3673241	187	239,25

Tabla 12. Comparativa de la tensión crítica y la admisible.

Se puede observar que los valores son acordes al correcto dimensionado del tablero con las dos ediciones de las normativas brasileñas, por lo que se ha dimensionado correctamente por parte de comprobación a resistencia, falta la comprobación de flecha máxima admisible E.L.S.

La comprobación de deformación se centra en la flecha generada por las fuerzas hidrostáticas que actúan en el tablero. Esta comprobación se realiza con la siguiente ecuación:

$$f = \frac{\alpha \cdot p \cdot a^4}{E \cdot t^3} \quad (8)$$

f= Flecha generada (mm)

p= Presión hidrostática en el módulo de estudio (0,02616MPa)

a= Lado menor del módulo (599,15mm)

E= Modulo de Young del material empleado en este caso acero estructural (206000N/mm²)

t= Espesor del tablero (8mm)

α = Coeficiente adimensional propuesto por Timoshenko, dependiente de la relación entre base y altura del módulo. Tabla 13. Coeficiente propuesto por Timoshenko.

Coeficiente "α" propuesto por Timoshenko							
b/a	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	inf
α	0,0138	0,0188	0,0226	0,0251	0,0267	0,0277	0,0284

Tabla 13. Coeficiente propuesto por Timoshenko. ORIGEN: Cálculo de equipos hidrodinámicos, Ricardo López Roldán.

$$f = \frac{0,0284 \cdot 0,02616 \cdot 599,15^4}{206000 \cdot 8^3} = 0,9mm \quad (9)$$

Con la flecha generada ya hallada, haría falta estipular el valor de flecha admisible. En este caso para compuerta hidráulicas la normativa dicta un valor de flecha de L/750 y en algunos casos L/1000. L= altura de la compuerta (5000mm).

f-->	0,90775514	mm
fadm L/750	6,66666667	mm
fadm L/1000	5	mm

Tabla 14. Comparativa de flecha admisible del tablero.

En conclusión, se ha dimensionado correctamente el espesor del tablero de 8 mm de grosor con comprobaciones a resistencia E.L.U. con una tensión máxima real de 73,36MPa y admisible de 187MPa, y comprobación a deformación E.L.S. con una flecha real de 0,9mm y flecha admisible de 6,667mm.

5.3.3. Comprobación de perfiles de rigidizadores

Para el cálculo de los perfiles rigidizadores, se habían calculado 5 horizontales y una pletina vertical. Los perfiles horizontales serán normalizados en vez de armados, ya que no será necesario realizar comprobaciones de estabilidad estructural, las características geométricas y mecánicas ya vienen normalizadas y definidas en tablas y no es necesario ningún tipo de mano de obra para su fabricación.

Por lo que se va a proponer dos opciones de cálculo para los perfiles horizontales: IPN y UPN, continuados por cálculos manuales y en comparativa se aportará los cálculos por elementos finitos (Cype), en el documento Anejo I: Cálculo Estructural tablero y rigidizadores.

Las comprobaciones serán a resistencia E.L.U., a deformación E.L.S., esfuerzo cortante, espesor mínimo del ala, inestabilidad local en el ala y comprobación abolladura en el ala. Se escogerá el perfil más adecuado al cálculo. Dicho cálculo se realizará para el caso del rigidizador localizado en la posición más crítica donde actúa la fuerza resultante de la presión hidrostática (altura 1,33m desde el suelo, 3,67m desde donde empieza la compuerta), el cual es el tercer rigidizador situado a 3,53m. También toda carga repartida no actuará sobre el perfil entero ya que los dos extremos se deja una distancia de 200mm para poder montar la junta de la tajadera con su pletina de cierre y que pueda ir embebida correctamente para poder deslizarse libremente con el marco de la compuerta calculado más adelante. Con las consideraciones anteriores se llega a un diagrama de esfuerzos que es el siguiente:

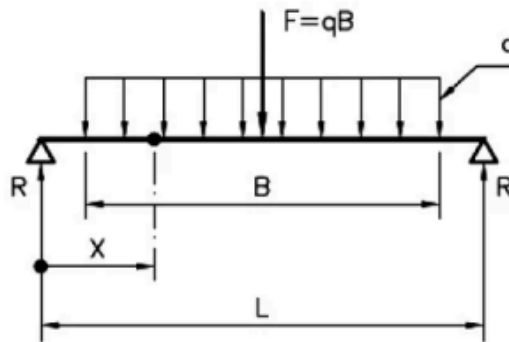


Diagrama 1. Diagrama de esfuerzos y disposición de los rigidizadores. Origen: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti.

$$M_{\text{máx}} = \frac{(2 \cdot L - B) \cdot F}{8} \quad (10)$$

Siendo:

L = longitud del perfil/anchura de la compuerta (3500mm)

B = Longitud en la que la carga es empleada, en este caso $3500-200-200=3100\text{mm}$

F = Fuerza resultante (kN)

$$F = q \cdot B \quad (11)$$

q = Carga uniforme (kN/m)

$$q = P \cdot \text{Ancho de banda} \quad (12)$$

Ancho de banda= La separación entre los módulos de estudio, este caso la separación entre hk_3 y hk_2 , (599,15 mm)

Memoria

P= Presión el área del rigidizador horizontal (kN/m²)

$$P = \gamma \cdot g \cdot y_k \quad (13)$$

γ = Peso específico del agua (981Kp/m³)

g= Aceleración gravitatoria (9,81m/s²)

y_k = Distancia entre la lámina de agua hasta el eje del rigidizador de estudio ($y_{k3}=3,59$ m)

$$P = 981 \cdot 9,81 \cdot 3,59 = 33,96 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 33,96 \cdot 0,59915 = 20,35 \text{ kN/m}^2$$

$$F = 20,35 \cdot 3,1 = 63,089 \text{ kN}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{(2 \cdot 3,5 - 3,1) \cdot 63,089}{8} = 30756,36 \text{ kNmm}$$

Este momento máximo que tiene lugar en el centro del rigidizador se emplea para hallar el perfil adecuado mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} \quad (14)$$

σ_{real} = Tensión real, que debe ser menor que la admisible 187MPa

W_x = Módulo resistente de la sección del perfil seleccionado (cm⁴)

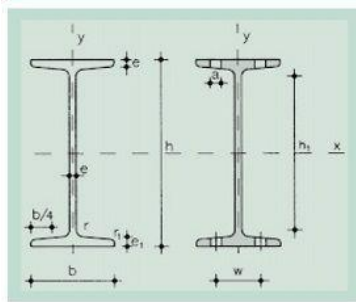
5.3.3.1. IPN

En este apartado se realizarán las comprobaciones necesarias mencionadas anteriormente:

1. Comprobación a resistencia:

Para el perfil IPN, según la expresión anterior se halla el módulo resistente mínimo necesario de 164,472cm³, por lo que con la ayuda de la Tabla 15. Prontuario de perfiles IPN. se selecciona el perfil adecuado de IPN 200 de 214 cm³ de W_x .

Memoria



A = Área de la sección	I_x = Módulo de torsión de la sección
S_x = Momento estático de media sección, respecto a X	I_y = Módulo de alabeo de la sección
I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X	u = Perímetro de la sección
$W_x = 2I_x : h$: h. Módulo resistente de la sección, respecto a X	a = Diámetro del agujero del roblón normal
$i_x = \sqrt{I_x : A}$: Radio de giro de la sección, respecto a X	w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y	h_1 = Altura de la parte plana del alma
$W_y = 2I_y : b$: b. Módulo resistente de la sección, respecto a Y	e_2 = Espesor del ala en el eje del agujero
$i_y = \sqrt{I_y : A}$: Radio de giro de la sección, respecto a Y	p = Peso por m

Perfil	Dimensiones								Términos de sección										Agujeros			Peso
	h mm	b mm	e=r mm	e_1 mm	r_1 mm	h_1 mm	u mm	A cm ²	S_x cm ³	I_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	I_y cm ⁴	W_y cm ³	i_y cm	I_t cm ⁴	I_a cm ⁶	w mm	a mm	e_2 mm	p kg/m	
IPN 80	80	42	3,9	5,9	2,3	59	304	7,58	11,4	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	0,93	87,5	22	—	4,43	5,95	C
IPN 100	100	50	4,5	6,8	2,7	75	370	10,60	19,9	171,0	34,2	4,01	12,20	4,88	1,07	1,72	268,0	28	—	5,05	8,32	P
IPN 120	120	58	5,1	7,7	3,1	92	439	14,20	31,8	328,0	54,7	4,81	21,50	7,41	1,23	2,92	685,0	32	—	5,67	11,20	P
IPN 140	140	66	5,7	8,6	3,4	109	502	18,30	47,7	573,0	81,9	5,61	35,20	10,70	1,40	4,66	1.540,0	34	11	6,29	14,40	P
IPN 160	160	74	6,3	9,5	3,8	125	575	22,80	68,0	935,0	117,0	6,40	54,70	14,80	1,55	7,08	3.138,0	40	11	6,91	17,90	P
IPN 180	180	82	6,9	10,4	4,1	142	640	27,90	93,4	1.450,0	161,0	7,20	81,30	19,80	1,71	10,30	5.924,0	44	13	7,53	21,90	P
IPN 200	200	90	7,5	11,3	4,5	159	709	33,50	125,0	2.140,0	214,0	8,00	117,00	26,00	1,87	14,60	10.520,0	48	13	8,15	26,30	P
IPN 220	220	98	8,1	12,2	4,9	175	775	39,60	162,0	3.060,0	278,0	8,80	162,00	33,10	2,02	20,10	17.760,0	52	13	8,77	31,10	P
IPN 240	240	106	8,7	13,1	5,2	192	844	46,10	206,0	4.250,0	354,0	9,59	221,00	41,70	2,20	27,00	28.730,0	56	17	9,39	36,20	P
IPN 260	260	113	9,4	14,1	5,6	208	906	53,40	257,0	5.740,0	442,0	10,40	288,00	51,00	2,32	36,10	44.070,0	60	17	10,15	41,90	P
IPN 280	280	119	10,1	15,2	6,1	225	966	61,10	316,0	7.590,0	542,0	11,10	364,00	61,20	2,45	47,80	64.580,0	62	17	11,04	48,00	P
IPN 300	300	125	10,8	16,2	6,5	241	1.030	69,10	381,0	9.800,0	653,0	11,90	451,00	72,20	2,56	61,20	91.850,0	64	21	11,83	54,20	P
IPN 320	320	131	11,5	17,3	6,9	257	1.090	77,80	457,0	12.510,0	782,0	12,70	555,00	84,70	2,67	78,20	128.800,0	70	21	12,72	61,10	P
IPN 340	340	137	12,2	18,3	7,3	274	1.150	86,80	540,0	15.700,0	923,0	13,50	674,00	98,40	2,80	97,50	176.300,0	74	21	13,51	68,10	P
IPN 360	360	143	13,0	19,5	7,8	290	1.210	97,10	638,0	19.610,0	1.090,0	14,20	818,00	114,00	2,90	123,00	240.100,0	76	23	14,50	76,20	P
IPN 380	380	149	13,7	20,5	8,2	306	1.270	107,00	741,0	24.010,0	1.260,0	15,00	975,00	131,00	3,02	150,00	318.700,0	82	23	15,29	84,00	P
IPN 400	400	155	14,4	21,6	8,6	323	1.330	118,00	857,0	29.210,0	1.460,0	15,70	1.160,00	149,00	3,13	183,00	419.600,0	86	23	16,18	92,60	P
IPN 450	450	170	16,2	24,3	9,7	363	1.478	147,00	1.200,0	45.850,0	2.040,0	17,70	1.730,00	203,00	3,43	288,00	791.100,0	94	25	18,35	115,00	P
IPN 500	500	185	18,0	27,0	10,8	404	1.626	180,00	1.620,0	68.740,0	2.750,0	19,60	2.480,00	268,00	3,72	449,00	1.403.000,0	100	28	20,53	141,00	P
IPN 550	550	200	19,0	30,0	11,9	445	1.787	213,00	2.120,0	99.180,0	3.610,0	21,60	3.490,00	349,00	4,02	618,00	2.389.000,0	110	28	23,00	167,00	P
IPN 600	600	215	21,6	32,4	13,0	485	1.924	254,00	2.730,0	139.000,0	4.630,0	23,40	4.670,00	434,00	4,30	875,00	3.821.000,0	120	28	24,88	199,00	P

Tabla 15. Prontuario de perfiles IPN. ORIGEN: <https://ingemecanica.com/utilidades/prontuario-de-perfiles-metalicos.html>

2. Comprobación a rigidez-deformación:

La flecha real generada en el perfil se calcula mediante la siguiente expresión.

$$f = \frac{5 \cdot F \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I} \quad (15)$$

F= Carga puntual calculada anteriormente (63089N)

L= Distancia total del perfil/compuerta (3500mm)

E= Módulo de elasticidad del acero (210000N/mm²)

I= Momento de inercia del perfil (2140 cm⁴)

Daríá como resultado:

$$f = \frac{5 \cdot 63089 \cdot 3500^3}{384 \cdot 210000 \cdot 21400000} = 7,83mm$$

Debido a que la flecha máxima admisible para compuertas hidráulicas es de $L/750$, obtendríamos una flecha admisible de 4,66mm, por lo que no sería admisible la flecha real y es necesario emplear un perfil superior como el IPN240 con un momento de inercia de 4250cm^4 .

$$f = \frac{5 \cdot 63089 \cdot 3500^3}{384 \cdot 210000 \cdot 42500000} = 3,94\text{mm}$$

3. Comprobación a esfuerzo cortante:

Para el caso de cálculo se empleará la siguiente expresión.

$$\tau_{ala} = \frac{V_{max}}{A_s} \quad (16)$$

V_{max} = Esfuerzo cortante máximo:

$$V_{max} = \frac{q \cdot B \cdot c}{L} \quad (17)$$

Donde c es la distancia desde el apoyo hasta el centro del rigidizador (1750mm).

$$V_{max} = \frac{20,35 \cdot 3100 \cdot 1750}{3500} = 31544 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = t_a \cdot (h_v - 2 \cdot t_m) \quad (18)$$

t_a = Espesor del alma, para IPN240 8,7mm

h_v = Altura del perfil, este caso 240mm

t_m = Espesor de las alas, este caso 13,1mm

$$A_s = 8,7 \cdot (240 - 2 \cdot 13,1) = 1860\text{mm}^2$$

$$\tau_{ala} = \frac{31544}{1860} = 16,95$$

Dicha tensión cortante debe ser menor que la tensión cortante admisible de seguridad para caso de carga normal de la norma NBR 8883 de $107,25\text{N/mm}^2$, Tabla 4. Tensiones admisibles para S-275JR para $e < 16\text{mm}$ según NBR 8883. Por lo que cumple.

4. Comprobación espesor mínimo del ala:

El espesor del ala del perfil seleccionado es de 8,7mm, por lo que el espesor mínimo calculado debe ser menor a este, el cálculo sería el siguiente:

$$t = \frac{F}{2 \cdot h_1 \cdot \sigma_{adm}} \quad (19)$$

F= Carga de agua en el rigidizador (N)

$$F = \gamma \cdot B \cdot \text{Centroide}^2 \quad (20)$$

Centroide= distancia entre la lámina de agua hasta el eje del rigidizador de estudio (2,66m)

$$F = (9,81 \cdot 3,5 \cdot 2,66^2) \cdot 1000 = 244,16kN$$

h_1 = Altura del alma, este caso IPN240 192,5mm

σ_{adm} = Tensión admisible a esfuerzo cortante del material según normativa, 107,25kN/mm²

$$t = \frac{244160}{2 \cdot 192,5 \cdot 107,25} = 5,91mm < 8,7mm$$

El espesor mínimo que debe tener el alma es correcto. Cumple.

5. Pandeo local del ala comprimido:

La E.L.U. según la norma EA-95, en el pandeo local del ala comprimido se comprueba mediante la siguiente expresión.

$$\frac{b}{e} \leq 15 \cdot \sqrt{\frac{2400}{\sigma_{adm}}} \quad (21)$$

b = Mitad de la longitud del ala, este caso 53mm

e = Espesor del ala comprimida, la superior este caso 8,7mm

σ_{adm} = Tensión admisible a flexión 187MPa → 1906,84Kp/cm²

$$\frac{53}{8,7} \leq 15 \cdot \sqrt{\frac{2400}{1906,84}}$$

$$6,09 \leq 16,82$$

El perfil seleccionado cumple con esta comprobación.

6. Comprobación abolladura del alma:

Según la norma DIN-4114, la estabilidad del alma se comprueba mediante la siguiente verificación:

$$\frac{h_w}{t_w} \geq 45 \quad (22)$$

h_w = Dimensión del alma para IPN240, 192,5mm

t_w =Espesor del alma para IPN240, 8,7mm

$$\frac{192,5}{8,7} = 22,12 \geq 45$$

Cumple esta comprobación evidentemente ya que es un perfil laminado.

Sin embargo, se comprobará también para la normativa EA-95 mediante la siguiente expresión y se puede observar que también cumple la condición.

$$\frac{t_w}{h_w} = \frac{8,7}{192,5} = 0,0452 \geq 0,014$$

7. Pandeo lateral:

El pandeo lateral según la norma EA-95, exige cumplir la siguiente comprobación.

$$L_i \geq 40 \cdot i_{ycc} \quad (23)$$

L_i = Distancia entre puntos de arriostramiento, separación entre rigidizadores verticales, en este caso solo hay uno central por lo que 1750mm

i_{ycc} = Radio de giro del ala comprimida del IPN240, en este caso una pletina de 106x13,1mm

$$i_{ycc} = \sqrt{\frac{I_y}{A_t}} \quad (24)$$

I_y = Momento de inercia del ala

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (25)$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 13,1 \cdot 106^3 = 1300192,467 \text{mm}^4$$

A_t = Área total

$$A_t = b \cdot h = 13,1 \cdot 106 = 1388,6 \text{mm}^2$$

$$i_{ycc} = \sqrt{\frac{1300192,467}{1388,6}} = 30,59 \text{mm}$$

Por lo que, llevando a cabo la comprobación, se puede observar que cumple según la normativa EA-95.

$$1750 \geq 40 \cdot 30,59$$

$$1750 \geq 1223$$

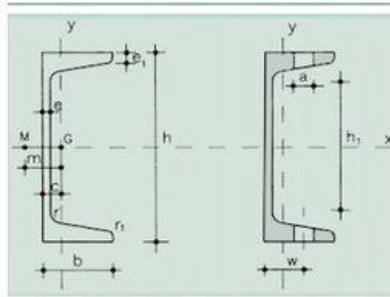
En conclusión, se ha dimensionado correctamente 5 rigidizadores con perfiles IPN240.

5.3.3.2. UPN

En este apartado se realizarán solo las comprobaciones necesarias, pero con el perfil UPN:

1. Comprobación a resistencia:

Para el perfil UPN, según la expresión anterior se halla el módulo resistente mínimo necesario de 164,472cm³, por lo que con la ayuda de la Tabla 16. Prontuario de perfiles UPN. se selecciona el perfil adecuado de UPN 200 de 191 cm³ de W_x .



A = Área de la sección	I_x = Módulo de torsión de la sección
S_x = Momento estático de media sección, respecto a X	c = Posición del eje Y
I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X	m = Distancia al centro de esfuerzos cortantes
$W_x = 2I_x : h$. Módulo resistente de la sección, respecto a X	a = Diámetro del agujero del roblón normal
$i_x = \sqrt{I_x : A}$. Radio de giro de la sección, respecto a X	w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros
I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y	h_1 = Altura de la parte plana del alma
$W_y = I_y : (b - c)$. Mínimo módulo resistente de la sección, respecto a Y	p = Peso por m
$i_y = \sqrt{I_y : A}$. Radio de giro de la sección, respecto a Y	u = Perímetro

Perfil	Dimensiones							Términos de sección							Agujeros		Peso					
	h mm	b mm	e mm	$e_1=r$ mm	r_1 mm	h_1 mm	u mm	A cm ²	S_x cm ³	I_x cm ⁴	W_x cm ³	i_x cm	I_y cm ⁴	W_y cm ³	i_y cm	c cm	m cm	w mm	a mm	p kp/m		
UPN 80	80	45	6,0	8,0	4,0	46	312	11,0	15,9	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	2,24	1,45	2,67	25	13	8,64	C
UPN 100	100	50	6,0	8,5	4,5	64	372	13,5	24,5	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	2,96	1,55	2,93	30	13	10,60	P
UPN 120	120	55	7,0	9,0	4,5	82	434	17,0	36,3	364	60,7	4,62	43,2	11,10	1,59	4,30	1,60	3,03	30	17	13,40	P
UPN 140	140	60	7,0	10,0	5,0	98	489	20,4	51,4	605	86,4	5,45	52,7	14,80	1,75	6,02	1,75	3,37	35	17	16,00	P
UPN 160	160	65	7,5	10,5	5,5	115	546	24,0	68,8	925	116,0	6,21	62,7	18,30	1,89	7,81	1,84	3,56	35	21	18,80	P
UPN 180	180	70	8,0	11,0	5,5	133	611	28,0	89,6	1350	150,0	6,95	72,7	22,40	2,02	9,98	1,92	3,75	40	21	22,00	P
UPN 200	200	75	8,5	11,5	6,0	151	661	32,2	114,0	1910	191,0	7,70	82,7	27,00	2,14	12,60	2,01	3,94	40	23	25,30	P
UPN 220	220	80	9,0	12,5	6,5	167	718	37,4	146,0	2690	245,0	8,48	92,7	33,60	2,30	17,00	2,14	4,20	45	23	29,40	P
UPN 240	240	85	9,5	13,0	6,5	184	775	42,3	179,0	3600	300,0	9,22	102,7	39,60	2,42	20,80	2,23	4,39	45	25	33,20	P
UPN 260	260	90	10,0	14,0	7,0	200	834	48,3	221,0	4820	371,0	9,99	112,7	47,70	2,56	23,70	2,36	4,66	50	25	37,90	P
UPN 280	280	95	10,0	15,0	7,5	216	890	53,3	266,0	6280	448,0	10,90	122,7	57,20	2,74	33,20	2,53	5,02	50	25	41,80	P
UPN 300	300	100	10,0	16,0	8,0	232	950	58,8	316,0	8030	535,0	11,70	132,7	67,80	2,90	40,60	2,70	5,41	55	25	46,20	P

Tabla 16. Prontuario de perfiles UPN. ORIGEN: <https://ingemecanica.com/utilidades/prontuario-de-perfiles-metalicos.html>

2. Comprobación a rigidez-deformación:

La flecha real generada en el perfil se calcula mediante la siguiente expresión.

$$f = \frac{5 \cdot F \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I} \quad (26)$$

F= Carga puntual calculada anteriormente (63089N)

L= Distancia total del perfil/compuerta (3500mm)

E= Módulo de elasticidad del acero (210000N/mm²)

I= Momento de inercia del perfil (2140 cm⁴)

Daríá como resultado:

$$f = \frac{5 \cdot 63089 \cdot 3500^3}{384 \cdot 210000 \cdot 19100000} = 8,77mm$$

Debido a que la flecha máxima admisible para compuertas hidráulicas es de L/750, obtendríamos una flecha admisible de 4,66mm, por lo que no sería admisible la flecha real y es necesario emplear un perfil superior como el UPN240 con un momento de inercia de 3600cm⁴.

$$f = \frac{5 \cdot 63089 \cdot 3500^3}{384 \cdot 210000 \cdot 36000000} = 4,65mm$$

3. Comprobación a esfuerzo cortante:

Para el caso de cálculo se empleará la siguiente expresión.

$$\tau_{ala} = \frac{V_{max}}{A_s} \quad (27)$$

V_{max} = Esfuerzo cortante máximo:

$$V_{max} = \frac{q \cdot B \cdot c}{L} \quad (28)$$

Donde c es la distancia desde el apoyo hasta el centro del rigidizador (1750mm).

$$V_{max} = \frac{20,35 \cdot 3100 \cdot 1750}{3500} = 31544 \text{ N/mm}^2$$

El área de selección es solo el área que actúa a cortante los cuales son las dos patas del perfil.

$$A_s = b \cdot e_1 \cdot 2 \quad (29)$$

b= Altura del perfil, para UPN240 85mm

e_1 = Espesor de la pata del perfil, este caso 13mm

$$A_s = 13 \cdot 85 \cdot 2 = 2210 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{ala} = \frac{31544}{2210} = 14,27 \text{ N/mm}^2$$

Dicha tensión cortante debe ser menor que la tensión cortante admisible de seguridad para caso de carga normal de la norma NBR 8883 de 107,25N/mm², Tabla 4. Tensiones admisibles para S-275JR para $e < 16$ mm según NBR 8883. Por lo que cumple.

4. Comprobación espesor mínimo del perfil:

El espesor del perfil seleccionado es de 13mm aproximadamente, por lo que el espesor mínimo calculado debe ser menor a este, el cálculo sería el siguiente:

$$t = \frac{F}{2 \cdot h_1 \cdot \sigma_{adm}} \quad (30)$$

F= Carga de agua en el rigidizador (N)

$$F = \gamma \cdot B \cdot \text{Centroide}^2 \quad (31)$$

Centroide= distancia entre la lámina de agua hasta el eje del rigidizador de estudio (2,66m)

$$F = (9,81 \cdot 3,5 \cdot 2,66^2) \cdot 1000 = 244,16 \text{ kN}$$

h_1 = Altura del perfil, este caso UPN240 85mm

σ_{adm} = Tensión admisible a esfuerzo cortante del material según normativa, 107,25kN/mm²

$$t = \frac{244160}{2 \cdot 85 \cdot 107,25} = 1,56mm < 13mm$$

El espesor mínimo que debe tener las patas del perfil es correcto. Cumple.

En conclusión, se ha dimensionado correctamente 5 rigidizadores con perfiles UPN240.

5.3.3.3. Conclusión

Tras las comprobaciones de los dos perfiles y sus comparaciones se selecciona el perfil UPN240. La decisión de utilizar perfiles UPN240 en lugar de IPN240 para los rigidizadores horizontales del tablero de la compuerta se basa en varias razones clave. En primer lugar, los perfiles UPN240 ofrecen una mayor resistencia a la flexión lateral y torsional, mejorando así la estabilidad estructural. Además, su forma permite una distribución más uniforme de las cargas, reduciendo el riesgo de deformaciones. Asimismo, la facilidad de instalación y conexión de los perfiles UPN simplifica el proceso de montaje, ya que instalados ocupan menos espacio al plano normal del tablero que los IPN240, los perfiles UPN240 optimizan la resistencia, estabilidad y facilidad de instalación, lo que los convierte en la elección ideal.

6. Fuerzas de operación

El correcto funcionamiento de una compuerta hidráulica depende en gran medida de la comprensión y gestión de las fuerzas de apertura que actúan sobre ella. Estas fuerzas son el resultado de diversas presiones y condiciones operativas que deben ser cuidadosamente evaluadas para garantizar la eficiencia y seguridad de la compuerta.

En este apartado, se analizarán las principales fuerzas de apertura que intervienen en el proceso de operación de la compuerta. Estas incluyen las fuerzas hidrodinámicas causadas por el flujo del agua, el peso propio del tablero de la compuerta, la flotabilidad de la propia compuerta para el caso de cierre y las fuerzas de fricción en los puntos de contacto.

Para este cálculo se va a enfocar con el objetivo de obtener una tabla con las diferentes cargas a medida que está abriéndose o cerrándose la compuerta, y averiguando así también cuál de las dos operaciones será más restrictiva.

6.1. Cálculo fuerzas de operación

6.1.1. Peso y flotabilidad (G-E)

El peso de la compuerta que ha de elevarse, se obviará algunas piezas de pequeña dimensión que para el cálculo no hace variar el resultado, por lo que se centra en el tablero y los rigidizadores ya que son los elementos más pesados de la compuerta.

$$\text{Peso tablero} = 3,5 \cdot 5 \cdot 0,008 \cdot 7850 = 1099kg$$

$$\text{Peso rigidizadores} = 33,2 \cdot 3,5 \cdot 5 = 581kg$$

$$G = (1099 + 581) \cdot 9,81 = 16480,8N$$

Mientras que la flotabilidad es la capacidad del cuerpo a no hundirse en el fluido por lo que se halla por la expresión (32) y dejamos el valor en (G-E) para simplificar los cálculos.

$$E = \frac{G}{\gamma_m} \quad (32)$$

$$E = \frac{16,48}{7,85} = 2kN$$

γ_m = Peso específico del acero estructural, 7,85kN/m³

Por lo que, el cálculo concluiría con un valor de (G-E) de 14,38kN.

6.1.2. Fuerza de rozamiento de juntas laterales (F_{VL} y F'_{VL})

Las fuerzas de rozamiento pueden jugar un papel importante en el cálculo de fuerzas que impiden las operaciones de cierre o apertura. Estas juntas son esenciales para garantizar la estanqueidad de la misma compuerta por lo que no se puede obviar. Estas fuerzas dependen del material y forma de la junta lateral, en este caso se selecciona un sello lateral en forma de nota musical “J”. Primeramente, las fuerzas de rozamiento se calculan mediante la siguiente expresión.

$$F_{VL} = 2 \cdot \mu_e \cdot N \quad (33)$$

$$F'_{VL} = 2 \cdot \mu_d \cdot N \quad (34)$$

F_{VL} = Fuerza de fricción estática, al inicio de la operación de apertura o cierre (kN)

F'_{VL} = Fuerza de fricción dinámica, menor que el estático (kN)

μ_e y μ_d = Coeficientes de rozamiento estático y dinámico, en concreto entre el acero y neopreno, este caso 1 y 0,7

Materiales en contacto	Estático	Dinámico
Acero x acero (no lubricado)	0,4	0,2
Acero x acero (lubricado)	0,3	0,15
Acero x aleaciones de cobre (no lubricado)	0,2	0,15
Acero x aleaciones de cobre (lubricado)	0,15	0,1
Acero x aleaciones de cobre autolubricante	0,15	0,1
Acero x poliamida	0,25	0,15
Acero x polietileno	0,2	0,1
Acero x elastómero	1	0,7
Acero x PTFE	0,1	0,1
Acero x hormigón	0,4	0,4
Acero x madera (longitudinal a las fibras)	0,45	-
Acero x madera (transversal a las fibras)	0,55	-
Acero x acero (no lubricado)	0,4	0

Tabla 17. Lista de coeficiente de rozamiento del acero con diferentes materiales. ORIGEN: Cálculo de equipos hidromecánicos, Ricardo López Roldán.

Memoria

N = Fuerza de las cargas hidráulicas en la junta (kN), que dependen de la presión hidrostática y la geometría del sello

$$N = \frac{p \cdot L}{2 \cdot b} \cdot (b^2 + a^2 + a + t) \quad (35)$$

p = Presión hidrostática en el sello (kN/m²)

$$p = H - \frac{h}{2} \cdot \gamma \quad (36)$$

H = Altura de la lámina de agua, en este caso 4m

h = Altura de la compuerta mojada por el agua, 4m

γ = Peso específico del agua, 9,81kN/m³

L = Longitud del sello, que será la altura de la compuerta aproximadamente 5m

a, b, c = Medidas dadas por la disposición y geometría del sello

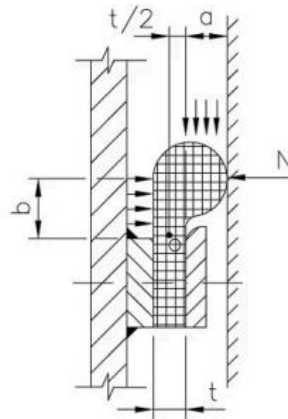


Figura 5. Vista del sello musical tipo "J" y medidas importantes. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti

$$N = \frac{19,62 \cdot 5}{2 \cdot 0,03} \cdot (0,03^2 + 0,025^2 + 0,025 + 0,02) = 3,31 \text{ kN}$$

Por lo que, las fuerzas de rozamiento son 6,62kN de rozamiento estático y 4,63kN dinámico.

$$F_{VL} = 2 \cdot 1 \cdot 3,31 = 6,62175 \text{ kN}$$

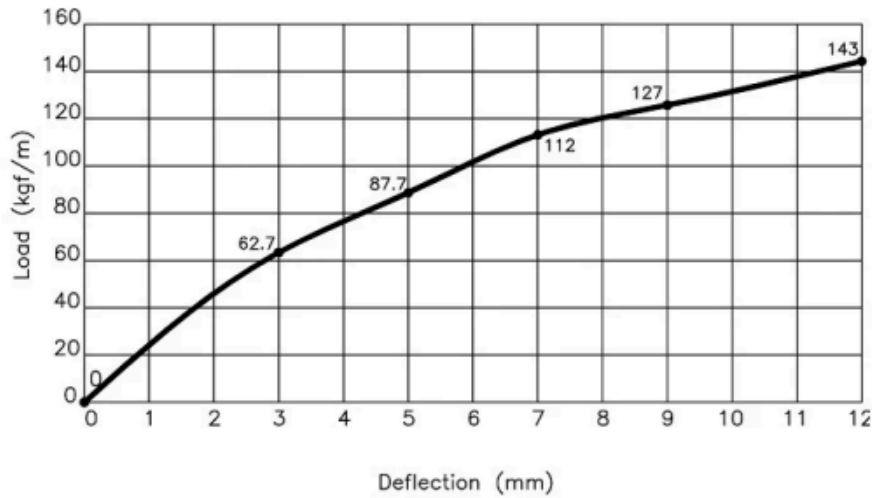
$$F'_{VL} = 2 \cdot 0,7 \cdot 3,31 = 4,635225 \text{ kN}$$

6.1.3. Fricción en las juntas debido a la desviación (F_{VDL})

Esta carga generada dichamente por la desviación en las operaciones de apertura o cierre dependen del material del sello, tensión necesaria para generar deflexión y su coeficiente de rozamiento estático.

$$F_{VDL} = Load \cdot L \cdot 2 \cdot \mu_e \quad (37)$$

Load= Tensión necesaria para generar una deflexión de 5mm en la junta, en este caso 87,7kg/m



Gráfica 3. Relación carga y deflexión del sello. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti

Esta gráfica de deflexión depende de la geometría del sello, en este caso aportada por el fabricante con su respectiva Gráfica 3. Relación carga y deflexión del sello.

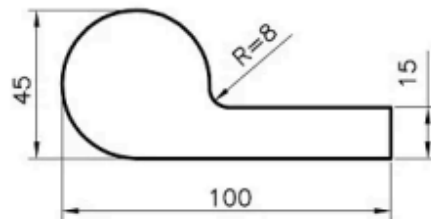


Ilustración 10. Medidas del sello. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti

L= Longitud del sello, en este caso 5m aproximadamente

μ_e = Coeficiente de rozamiento estático, en este caso 1

$$F_{VDL} = (9,81 \cdot 87,7) \cdot 5 \cdot 2 \cdot 1 = 8603,37N$$

6.2. Cálculo fuerzas hidrodinámicas

Las cargas hidrodinámicas generadas en las operaciones de apertura y cierre merecen un capítulo entero por su complejidad, existen métodos que intentan acertar con la fuerza generada por la hidrodinámica, en este cálculo se estudiarán dos métodos para más tarde seleccionar el más óptimo. Aunque primero se determinarán las velocidades en cada punto de la operación ya que las cargas dependen fundamentalmente de la velocidad del agua en esos puntos.

6.2.1. Velocidades (V_j)

A lo largo de la operación de cierre y apertura la velocidad del agua debajo de la compuerta varía teniendo un máximo nada más iniciar su apertura y su mínimo al estar

Memoria

completamente abierta. Esta velocidad hace actuar el líquido como flujo a presión por la altura de la lámina de agua que tiene encima.

Primero se calcula el caudal de descarga que efectuará la compuerta abierta.

$$Q = A \cdot v \quad (38)$$

A= Área por donde pasa el flujo de agua (m²)

$$A = b \cdot a = 4 \cdot 3,5 = 14m^2$$

v= Velocidad del agua en superficie libre sobre el canal (m/s)

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot s^{\frac{1}{2}} \quad (39)$$

n= Coeficiente de rugosidad de las paredes del canal, en este caso paredes de hormigón 0,015

Condiciones del caudal de agua	n	1/n
CANALES DE TIERRA SIN REVESTIR		
Tierra limpia y uniforme; canales recién ultimados	0.017	58.82
Curvatura suave, en légame o arcilla sólidos, con depósitos de fango, sin crecimiento de vegetación, en condiciones normales	0.025	40.00
Hierba corta, pocas malezas	0.024	41.67
Malezas densas en aguas profundas	0.032	31.25
Suelo accidentado con piedras	0.035	28.57
Mantenimiento escaso, malezas tupidas en toda la altura del caudal	0.040	25.00
Fondo limpio, arbustos en los taludes	0.070	14.29
CANALES REVESTIDOS		
Ladrillos de mortero de cemento	0.020	50.00
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0.015	66.67
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0.013	76.92
Ladrillos, paredes rugosas	0.015	66.67
Ladrillos, paredes bien construidas	0.013	76.92
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0.015	66.67
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0.013	76.92
Tablas bien cepilladas y firmemente fijadas	0.011	90.91
Membrana de plástico sumergida	0.027	37.04
CONDUCCIONES ELEVADAS/CANALETAS/ACUEDUCTOS		
Hormigón	0.012	83.33
Metal liso	0.015	66.67
Metal ondulado	0.021	47.62
Madera y bambú (lisos)	0.014	71.43

Tabla 18. Coeficientes de rugosidad de diferentes materiales. ORIGEN: https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/FSL/07_Flujo_uniforme.pdf

R_h= Relación hidráulica, este caso el área calculada anteriormente y el perímetro que moja el flujo de agua, dos veces la altura de agua más el ancho del canal

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{14}{(2 \cdot 4) \cdot 3,5} = 1,21$$

s= La pendiente del canal el cual es 0,001 por mil

$$v = \frac{1}{0,015} \cdot 1,21^{\frac{2}{3}} \cdot 0,0001^{\frac{1}{2}} = 0,75 \text{ m/s}$$

Memoria

Obteniendo así un caudal que circula por el canal de 10,64 m³/s

$$Q = 14 \cdot 0,75 = 10,64 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con el caudal ya calculado, ya se podría calcular la velocidad en cada punto de la operación. En este cálculo se exponen tres ecuaciones diferentes: una al abrirse la compuerta, otra durante el 20% o 30% de apertura y otra para el resto de la operación.

Para el 0-10% de apertura la velocidad se halla:

$$V_{j1} = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H)} \quad (40)$$

g= Aceleración de la gravedad, 9,81m/s²

H= Altura de lámina de agua, 4m

Para el 10-20-30% de la apertura:

$$V_{j2} = \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - C_c \cdot y)} \quad (41)$$

y= Nivel de apertura de la compuerta en metros

y/yo(%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Apertura(m)	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4

Tabla 19. Longitud de apertura en base el porcentaje.

Cc= Coeficiente de contracción del chorro de agua bajo la compuerta

y/yo(%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Cc	0	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,77	0,78	0,8	0,8	0,8

Tabla 20. Coeficiente de contracción del chorro de agua en función de la apertura de la compuerta.

Para el resto de los puntos de la operación:

$$V_{j3} = \frac{Q}{C_c \cdot y \cdot B} \quad (42)$$

Q= Caudal calculado anteriormente, 10,64 m³/s

Cc= Coeficiente de contracción

Y= Nivel de apertura en metros

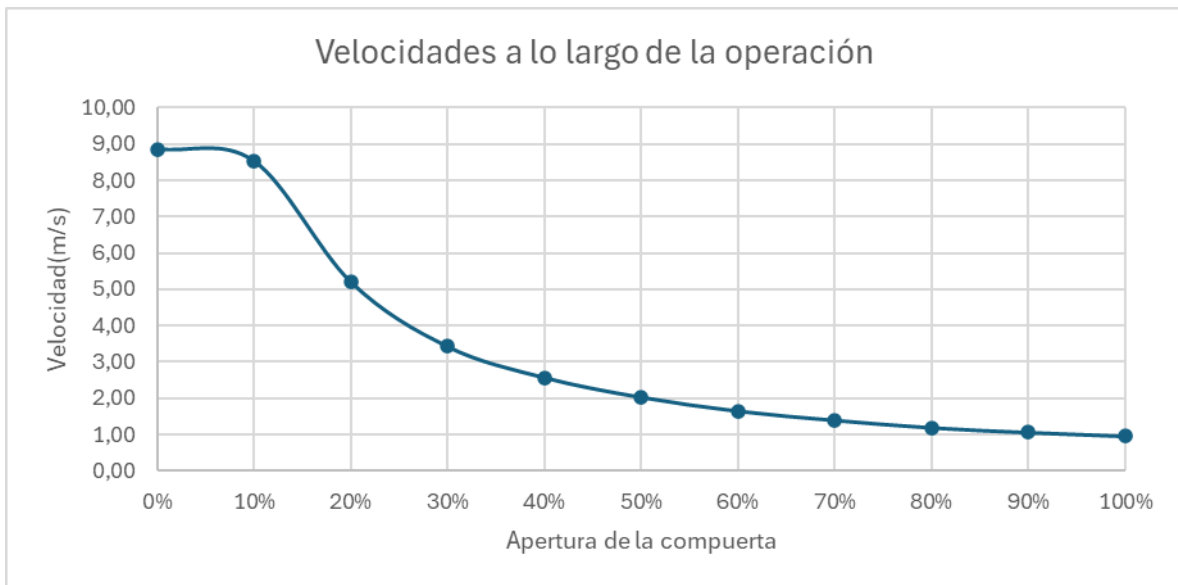
B= ancho de la compuerta, 3,5m

Teniendo claro las ecuaciones a emplear, se logra obtener la siguiente tabla con las velocidades en todo momento.

y/yo(%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Apertura(m)	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
Cc	0	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,77	0,78	0,8	0,8	0,8
Vj(m/s)	8,86	8,53	5,21	3,42	2,57	2,03	1,65	1,39	1,19	1,06	0,95

Tabla 21. Velocidades en cada punto de apertura de la compuerta.

Se puede observar como la velocidad disminuye a medida que la compuerta se va abriendo más, por lo que se puede dar por bueno el cálculo.



Gráfica 4. Velocidad a lo largo de la apertura de la compuerta.

6.2.2. Método Knapp

El método de Knapp es especialmente útil para analizar situaciones en las que el flujo de agua es turbulento o presenta variaciones significativas en velocidad y presión. Al aplicar este método, se pueden identificar las áreas de la compuerta que están sujetas a mayores esfuerzos, permitiendo tomar medidas de cálculo para la fuerza necesaria para hacer subir la compuerta o hacerla bajar.

El cálculo se rige por el parámetro T_e que varía a lo largo de la operación de cierre o apertura de la compuerta, dicho parámetro viene de:

$$T_e = y^2 \int_0^T \frac{dx}{(y + x \tan \beta)} = \frac{T \cdot y}{T \cdot \tan \beta + y} \quad (43)$$

T = Espesor total de compuerta, 8mm más 85mm, 93mm

β = Ángulo beta el cual tiene la compuerta, en este caso 0

y = Nivel de apertura de la compuerta, en metros

Memoria

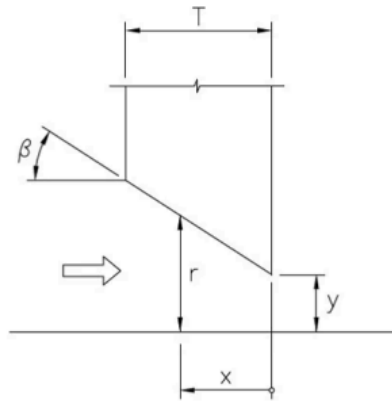


Figura 6. Vista de perfil de la compuerta. ORIGEN: Design of Hydraulic Gates, Paulo C.F. Erbisiti.

Con el parámetro T_e definido para cada punto, la fuerza hidrodinámica se calcula por la expresión siguiente:

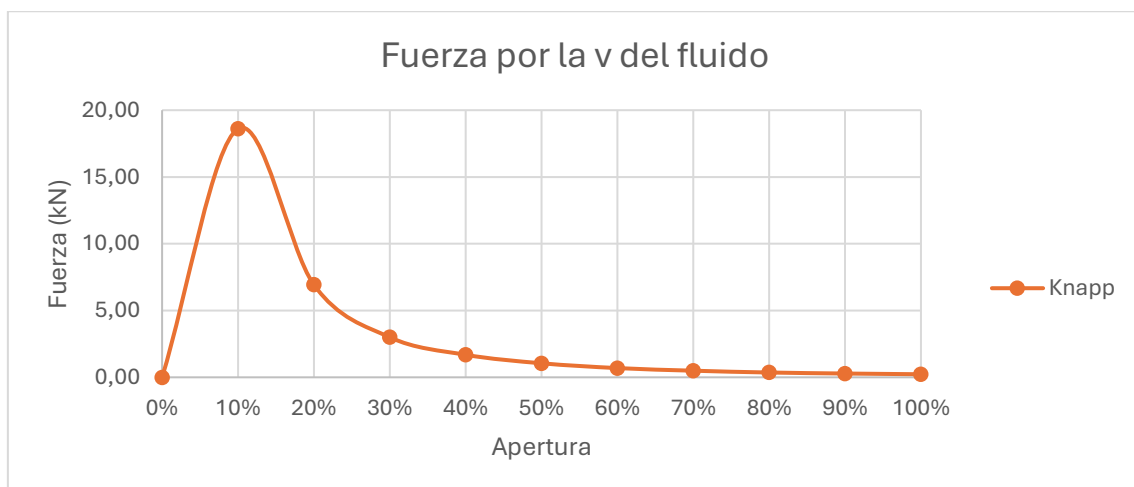
$$P = 9,81 \cdot 5,5 \cdot \frac{V_j^2}{2 \cdot 9,81} \cdot T_e \quad (44)$$

$$P = 2,75 \cdot V_j^2 \cdot T_e \quad (45)$$

Teniendo en cuenta todas las ecuaciones anteriores se logra trazar una gráfica de las cargas hidrodinámicas y una tabla cuantitativa, nos daría un máximo de 18,6kN en el punto 10%.

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
y	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
T_e	0	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093
V_j	8,86	8,53	5,21	3,42	2,57	2,03	1,65	1,39	1,19	1,06	0,95
P	0,00	18,61	6,93	3,00	1,69	1,05	0,69	0,50	0,36	0,29	0,23

Tabla 22. Fuerza hidrodinámica en cada punto de apertura Knapp.



Gráfica 5. Fuerza hidrodinámica por Knapp.

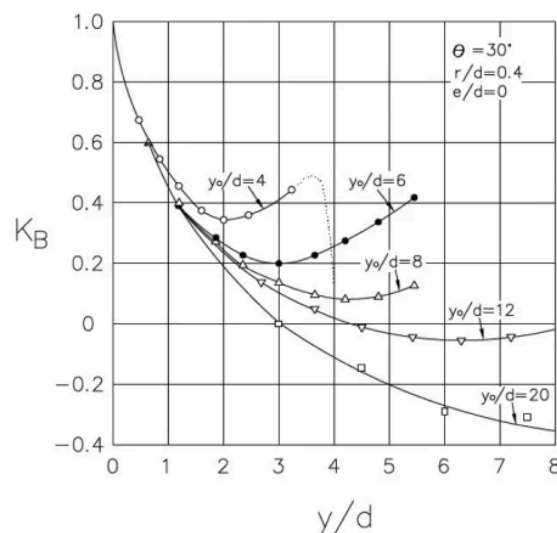
6.2.3. Método Naudascher, Kobus y Rao

El método Naudascher, Kobus y Rao presentado en la publicación “Hydrodynamic Anaysis fot High-Head Leaf Gates”, propone tres fuerzas actuantes que forman la fuerza hidrodinámica que interfiere en la fuerza necesaria para levantar la compuerta o cerrarla. La presión hidrodinámica a lo largo de la superficie inferior de la compuerta, la presión producida en el dintel (en este caso no hay dintel) y la presión hidrodinámica adicional en la parte inferior de la compuerta por su geometría.

La presión hidrodinámica a lo largo de la superficie inferior de la compuerta se rige por la ecuación siguiente:

$$P_1 = (1 - K_B) \cdot B \cdot d \cdot \gamma \cdot \frac{V_j^2}{2 \cdot g} \quad (46)$$

K_B = Coeficiente hidrodinámico en función de la geometría



Gráfica 6. Coeficiente hidrodinámico. ORIGEN: Hydrodynamic analysis for high-head leaf gates, Naudascher, Eduard Kobus, Helmut Rao, Ragam Pandu R.

y/yo(%)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Kb	1,00	0,60	0,43	0,30	0,19	0,10	0,00	-0,09	-0,13	-0,18	-0,20

Tabla 23. Valores de Kb para cada punto de apertura.

B= Ancho de la compuerta, 3,5m

d= Anchura de los rigidizadores horizontales, 85mm

γ = Peso específico del agua, 9,81kN/m³

g= Aceleración de la gravedad, 9,81m/s²

V_j = Velocidad del agua en el punto de operación, (m/s)

Presión hidrodinámica adicional en la parte inferior de la compuerta por su geometría:

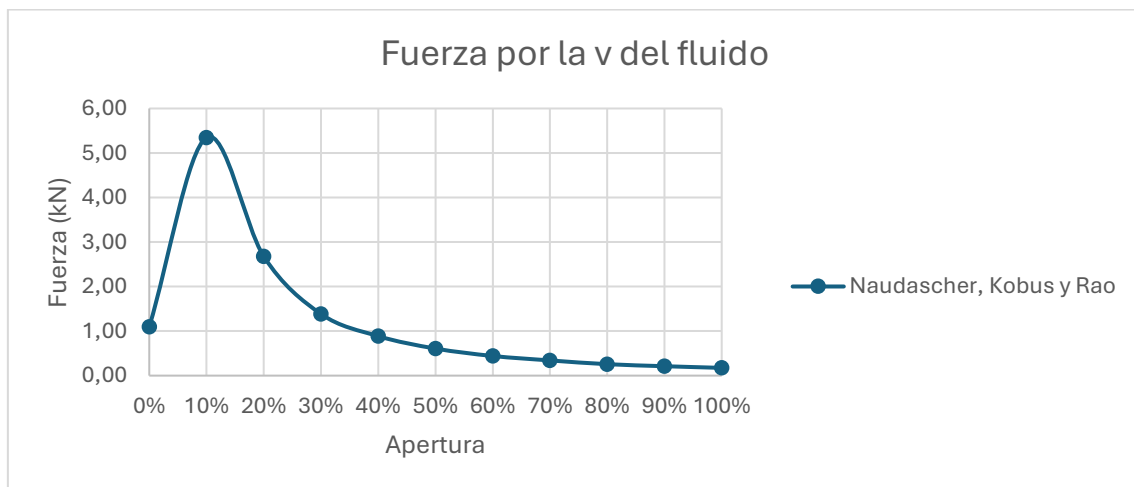
$$P_3 = K_T \cdot B \cdot d' \cdot \gamma \cdot \frac{V_j^2}{2 \cdot g} \quad (47)$$

d'= Espesor del tablero, 8mm

Con las ecuaciones definidas, se elabora una tabla de fuerzas hidrodinámicas en cada momento por este método y se observa un máximo en el 10% con 5,35kN, y se emplea una gráfica representativa.

y/yo(%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Apertura(m)	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
Cc	0	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,77	0,78	0,8	0,8	0,8
Vj(m/s)	8,86	8,53	5,21	3,42	2,57	2,03	1,65	1,39	1,19	1,06	0,95
Kb	1,00	0,60	0,43	0,30	0,19	0,10	0,00	-0,09	-0,13	-0,18	-0,20
P1(kN)	0,00	4,33	2,30	1,22	0,79	0,55	0,40	0,31	0,24	0,20	0,16
P2(kN)	6,18	5,73	2,13	0,92	0,52	0,32	0,21	0,15	0,11	0,09	0,07
P2(kN)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3(kN)	1,10	1,02	0,38	0,16	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
Fh(kN)	1,10	5,35	2,68	1,38	0,89	0,61	0,44	0,34	0,26	0,21	0,17

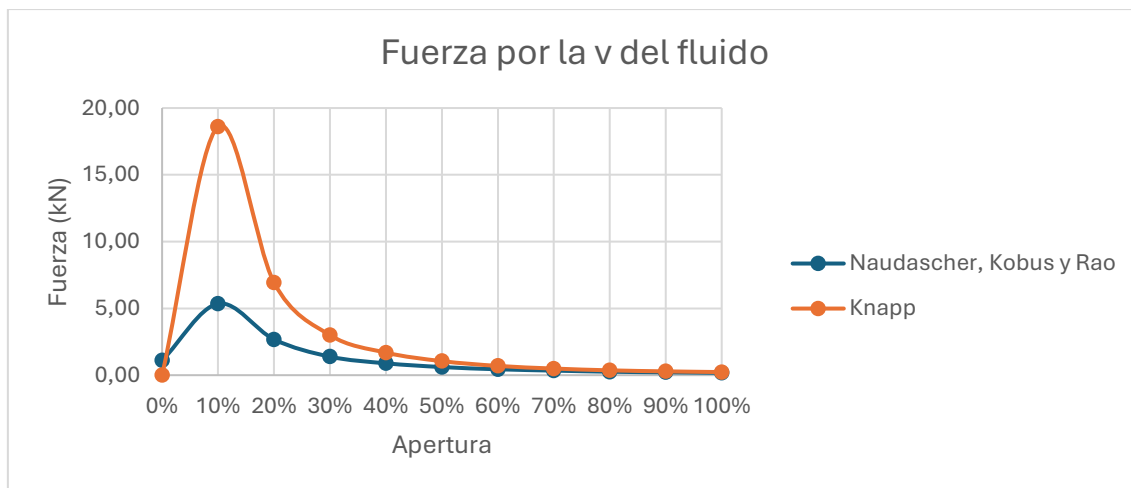
Tabla 24. Fuerzas hidrodinámicas Naudascher, Kobus y Rao.



Gráfica 7. Fuerzas hidrodinámicas Naudascher, Kobus y Rao.

6.2.4. Resultados

Tras los dos métodos expuestos se llega a la conclusión de que el método de Knapp arroja resultados mucho más conservadores que el de Naudascher, Kobus y Rao. Por lo que en este proyecto se va a emplear el último método seleccionado con un máximo de 5,35 kN al 10% de apertura de la compuerta.



Gráfica 8. Comparativa Knapp con Naudascher, Kobus y Rao.

6.3. Cálculos totales

Los cálculos totales para las operaciones dichas se van a enfocar en dos sumas distintas, una de apertura y otra de cierre.

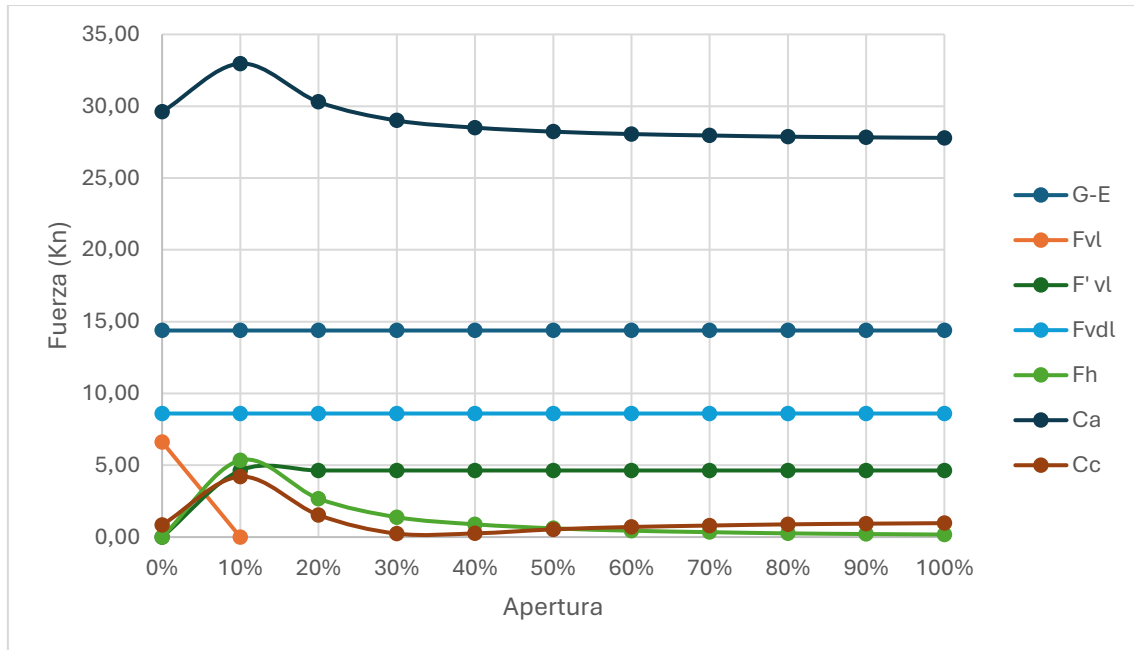
$$Ca = (G - E) + Fvl + F'vl + Fvdl + Fh \quad (48)$$

$$Cc = (G - E) - Fvl - F'vl - Fvdl - Fh \quad (49)$$

Con las ecuaciones expuestas y las fuerzas definidas anteriormente se logra obtener la siguiente tabla:

y/yo(%)	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Apertura(m)	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
(kN) G-E	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38	14,38
(kN) Fr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(kN) Fvl	6,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(kN) F'vl	0,00	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64	4,64
(kN) Fvs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(kN) Fvdl	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60
(kN) Fvds	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(kN) Fh	0,00	5,35	2,68	1,38	0,89	0,61	0,44	0,34	0,26	0,21	0,17
(kN) Ca	29,61	32,97	30,30	29,00	28,51	28,23	28,06	27,96	27,88	27,83	27,79
(kN) Cc	-0,84	-4,20	-1,53	-0,24	0,26	0,54	0,70	0,80	0,89	0,93	0,97

Tabla 25. Fuerza total en cada punto de apertura.



Gráfica 9. Fuerza de accionamiento en cada punto de apertura.

Con los cálculos expresados se logra determinar el momento más crítico el cual consta en la operación de apertura con 32,97kN al 10%. Este valor será el punto de partida para la selección del accionamiento.

Ca	MAX	32,96712559	kN
Cc	MAX	4,204455528	kN

Tabla 26. Máximos de fuerza de apertura y cierre.

7. Cálculo, comprobación y selección de husillo y tuerca

El accionamiento para elevar la compuerta será un conjunto de tuerca-husillo. El conjunto de husillo-tuerca es un componente crítico en el mecanismo de elevación de una compuerta hidráulica. Su correcto diseño y dimensionamiento son esenciales para asegurar que la compuerta pueda ser operada de manera eficiente, segura y fiable. En este apartado, se abordarán los cálculos necesarios para dimensionar el conjunto husillo-tuerca, así como la comprobación de su capacidad para soportar las cargas y fuerzas a las que estará sometido durante la operación de la compuerta.

El dimensionamiento adecuado del husillo incluye la determinación del diámetro necesario para soportar las cargas, así como el cálculo del paso de rosca para garantizar un movimiento suave y eficiente. Por su parte, la tuerca debe ser diseñada para resistir las fuerzas de fricción y desgaste, asegurando una operación prolongada y libre de fallos.

Finalmente, se realizará una comprobación del conjunto husillo-tuerca para verificar que cumple con todos los criterios de diseño y seguridad. Esto incluye la durabilidad bajo cargas cíclicas y la capacidad de soportar las condiciones ambientales y operativas específicas del proyecto.

El material que se va a emplear en la tuerca será el bronce 88/12 y el husillo de acero inoxidable F-114, ya que son los comúnmente utilizados para compuertas hidráulicas.

El husillo trapezoidal ascendente es preferido sobre el husillo de bolas por su simplicidad y mayor capacidad de carga estática. Además, ofrece un mejor rendimiento en aplicaciones que requieren movimientos lentos y precisos, y es más económico y resistente a la contaminación y al desgaste, ideal para entornos industriales. Por lo que en este proyecto se va a optar por un husillo ascendente.

Se realizarán una serie de pasos para hallar las dimensiones del conjunto, para cumplir con sus respectivas comprobaciones.

1. Superficie de soporte necesaria (Ssn):

La superficie se halla mediante la expresión (50) que una vez hallado el valor se selecciona una tuerca según el resultado por la Tabla 27. Prontuario de tuercas DIN 103.

$$Ssn = \frac{Ca}{Psm} \quad (50)$$

Ca= Carga axial, en este caso 32,97kN

Psm= Presión superficial máxima, en este caso suponemos un valor de 5N/mm²

$$Ssn = \frac{32967,12}{5} = 6593,42$$

Tuercas roscadas				
PASOS/MOD ELO	SUPERFICIE SOPORTE REF "LR"	SUPERFICIE SOPORTE REF "VR"	SUPERFICIE SOPORTE REF "BR" Y "CR"	SUPERFICIE SOPORTE REF "EFM"
TR15*3	320	430	340	600
TR16*4	370	490	***	670
TR18*4	470	560	***	770
TR20*4	590	630	590	870
TR22*5	640	680	***	***
TR24*5	710	750	***	1030
TR25*5	740	790	910	1090
TR26*5	1030	1030	***	***
TR28*5	1120	1120	***	1290
TR30*6	1330	1190	1330	1360
TR32*6	1340	1200	***	***
TR35*6	1920	2130	***	***
TR36*6	1960	2170	***	2140
TR40*7	2410	2410	2410	2930
TR45*7	2810	2810	***	***
TR50*8	3540	3800	3800	4910
TR60*9	5490	4580	5490	7200

Memoria

Tabla 27. Prontuario de tuercas DIN 103. ORIGEN: <http://www.baiz.net/es/productos-producto-estandar/ejemplo-dimensionado-conjunto-husillo-tuerca>

Por lo que daría como resultado una tuerca de 60x9.

2. Velocidad tangencial máxima (Vm):

El cálculo de velocidad tangencial máximo se halla:

$$Vm = \frac{Vpc}{Psm} \quad (51)$$

Psm= Presión superficial máxima, en este caso suponemos un valor de 5N/mm²

Vpc= Valor de presión cinemática, en este caso 400N/mm²·m/min

Material tuercas	Valor Vpc [N/mm ² m/min.]	Coefficiente μ fricción en seco	Coefficiente μ fricción lubricado
Bronce 88/12	400	0,1	0,05
Bronce Rg7	300	0,1	0,05
Fundición GG25	200	0,18	0,1

Tabla 28. Presión cinemática de tuercas roscadas con sus coeficientes de fricción. ORIGEN: <http://www.baiz.net/es/productos-producto-estandar/ejemplo-dimensionado-conjunto-husillo-tuerca>

$$Vm = \frac{400}{5} = 80 \text{ m/min}$$

3. Velocidad de giro máxima (Nm):

La velocidad de giro máximo se halla:

$$Nm = \frac{Vm \cdot 1000}{\pi \cdot \left(D - \frac{Paso}{2}\right)} \quad (52)$$

Vm= Velocidad tangencial máxima, 80m/min

Paso= Paso de la tuerca seleccionada, en este caso 9mm

D= Diámetro de la tuerca seleccionada, 60mm

$$Nm = \frac{80 \cdot 1000}{\pi \cdot \left(60 - \frac{9}{2}\right)} = 458,82 \text{ rpm}$$

4. Avance máximo (Sm):

El avance máximo se halla:

$$Sm = \frac{Nm \cdot paso}{1000} \quad (53)$$

Nm= Velocidad de giro máxima, 458,82rpm

Paso= Paso de la tuerca, 9mm

$$Sm = \frac{458,82 \cdot 9}{1000} = 4,13 \text{ m/min}$$

Cabe mencionar que existen muchas más comprobaciones que generalmente se realizan en husillos, especialmente en los husillos de bolas, en lugar de los husillos trapezoidales convencionales que se utilizarán en este proyecto. Entre estas comprobaciones adicionales se incluyen la evaluación de la capacidad de carga estática y dinámica, que depende del diámetro de las bolas utilizadas. Otras verificaciones son específicas para husillos que operan en disposición horizontal, como la flexión del eje debido a su propio peso, la deformación térmica, la torsión, y el cálculo de la vida útil nominal del husillo bajo cargas variables o diferentes ciclos de trabajo. Estas evaluaciones son típicas de husillos de bolas en aplicaciones de maquinaria industrial y quedan fuera del alcance de las compuertas hidráulicas, que utilizan husillos en disposición vertical.

8. Accionamiento

8.1. Necesidades

El análisis de diseño de una compuerta hidráulica implica una evaluación detallada de sus componentes, así como el estudio del método de accionamiento para la elevación del tablero. En este apartado, se desglosará las partes principales de la compuerta y se expondrá el diseño de compuerta con reductor manual.

Primero, se halla las necesidades del accionamiento por lo que se parte por el cálculo del momento torsor:

Para obtener el momento torsor se necesita realizar antes el cálculo del ángulo de inclinación de la rosca.

$$\text{tag}\beta = \frac{\text{Paso}}{\pi \cdot (D - \frac{\text{Paso}}{2})} \quad (54)$$

Paso= Paso de la rosca, en este caso 9mm

D= Diámetro exterior del husillo, en este caso 53mm

$$\text{tag}\beta = \frac{9}{\pi \cdot (53 - \frac{9}{2})} \rightarrow \beta = 3,38^\circ$$

Posteriormente, cálculo de ángulo de fricción de la rosca.

$$\beta_f = \mu \cdot 1,07 \quad (55)$$

μ = Coeficiente de fricción de la rosca la cual esta lubricado 0,05

$$\beta_f = 0,05 \cdot 1,07 = 0,0535^\circ$$

Cálculo de la eficiencia del conjunto.

$$E = \left(\frac{\tan\beta}{\tan\beta + \beta_f} \right) = 0,52 \rightarrow 52\% \quad (56)$$

Ya con los parámetros definidos, se calcula el momento torsor:

$$Mt = \frac{Ca \cdot Paso}{2000 \cdot \pi \cdot E} \quad (57)$$

Ca= Carga axial, 32,96kN

Paso= Paso del husillo, en este caso 9mm

E= La eficiencia del conjunto, 0,52

$$Mt = \frac{32896 \cdot 9}{2000 \cdot \pi \cdot 0,52} = 89,98Nm$$

En conclusión, se necesitaría un par torsor de 89,98 Nm a una velocidad de 10,61rpm.

8.2. Manual con reductor

La selección y el cálculo de un reductor manual como actuador para una compuerta hidráulica es una de las alternativas a estudiar para asegurar un funcionamiento eficiente y fiable del sistema. Un reductor manual permite a los operarios levantar o bajar la compuerta con un esfuerzo reducido, multiplicando el torque aplicado a través de un volante. Este proceso implica determinar la relación de transmisión necesaria para manejar el peso de la compuerta y diseñar el sistema para garantizar su durabilidad y eficacia.

Para el dimensionamiento de la reductora se selecciona la reductora de SERIE ZE para husillos trapezoidales para cargas de 100kN de la empresa Tecnopower. Esta reductora cuenta con una gama de relación de transmisión desde 1,5:1 hasta 9:1.

SERIE ZE



Capacidad de carga	5 kN		10 kN		25 kN		35 kN		50 kN		100 kN		150 kN		200 kN	
Traslación del husillo S Rotación del husillo R	Versión S	Versión R	Versión S+R	Versión S+R	Versión S	Versión R	Versión S+R	Versión S+R	Versión S+R	Versión S+R	Versión S+R	Versión S	Versión R			




Material de la caja reductora	Aluminio				GGG				GGG		
Z-Tr con husillo de rosca trapecial		18x4	20x4	30x6	40x7	40x7	55x9	60x9	70x12		
Z-KGT con husillo de bolas		16x5 16x10	25x5 25x10 25x25 25x50	32x5 32x10 32x20 32x40	-	40x5 40x10 40x20 40x40	40x5 40x10 40x20 40x40	50x10 50x20 50x40 50x50	63x10 63x20 63x40 63x60	80x10 80x20 80x40 80x60	
Z-sifa con tuerca de retención de seguridad		-	18x4	20x4	30x6	40x7	40x7	55x9	60x9	-	70x12

Tabla 29. Reductores manuales disponibles. ORIGEN: <https://www.tecnopower.es/gatos-mecanicos-informacion-tecnica>

Para el cálculo de la reductora, los inconvenientes son la fuerza necesaria para emplear por el operario y la velocidad angular ejercida. La norma ISO 11228-1, por ejemplo, establece directrices sobre la manipulación manual. Por lo que, suponiendo una fuerza acorde a factores, incluyendo la ergonomía, la duración del esfuerzo y la normativa de salud y seguridad laboral, se toma como aceptable una fuerza de giro por un operario de 150N. El volante ofrecido por la reductora de 550mm y un rendimiento medio de 0,8, se obtiene:

$$Mt1 = \text{Radio volante} \cdot \text{Fuerza ejercida} \quad (58)$$

$$Mt1 = 0,55 \cdot 150 = 41,25Nm$$

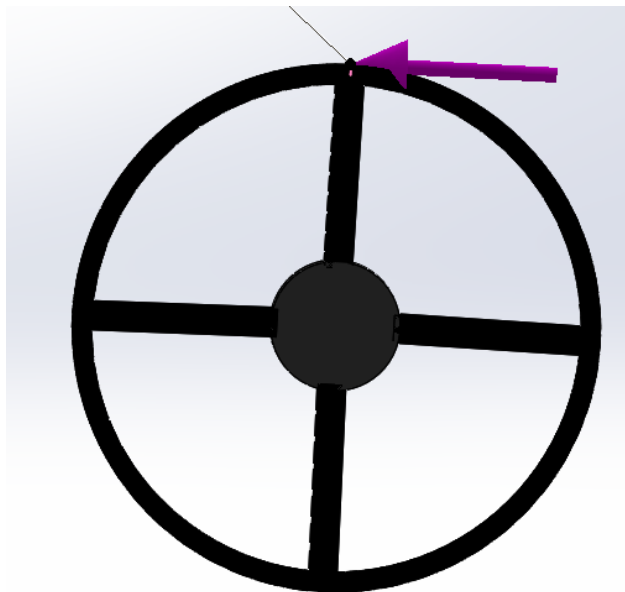


Ilustración 11. Fuerza aplicada para girar el volante. ORIGEN: SolidWorks.

Por lo que, con la reducción seleccionada de 1:3 y el rendimiento mencionado anteriormente se necesitaría un momento torsor a la entrada de 37,49 Nm, lo cual es menor que la máxima que puede aportar el operario y a una velocidad aceptable de 31,83 rpm.

$$Mt1 = \frac{1}{i} \cdot Mt2 \cdot \frac{1}{\eta} = 3 \cdot 89,98 \cdot \frac{1}{0,8} = 37,49 Nm$$

$$v1 = v2 \cdot i = 10,61 \cdot 3 = 31,83 rpm$$

Dado los resultados se concluye que la implementación de un reductor manual con las especificaciones seleccionadas garantiza una operación segura y eficiente de la compuerta hidráulica, optimizando tanto la ergonomía del operario como la durabilidad y eficacia del sistema.

9. Estructura marco

9.1. Diseño y cálculo del marco

El diseño y cálculo de la estructura del marco de una compuerta hidráulica son fundamentales para garantizar su integridad y funcionamiento eficaz bajo diversas condiciones operativas. El marco de la compuerta no solo proporciona soporte a los componentes móviles, sino que también debe resistir las fuerzas hidrostáticas y dinámicas que actúan sobre la compuerta durante su operación. El diseño debe ser dos pilares embebidos en hormigón de las paredes del canal y al menos una viga que soporte la carga del accionamiento, que será una carga puntual de 32,96kN.

Memoria

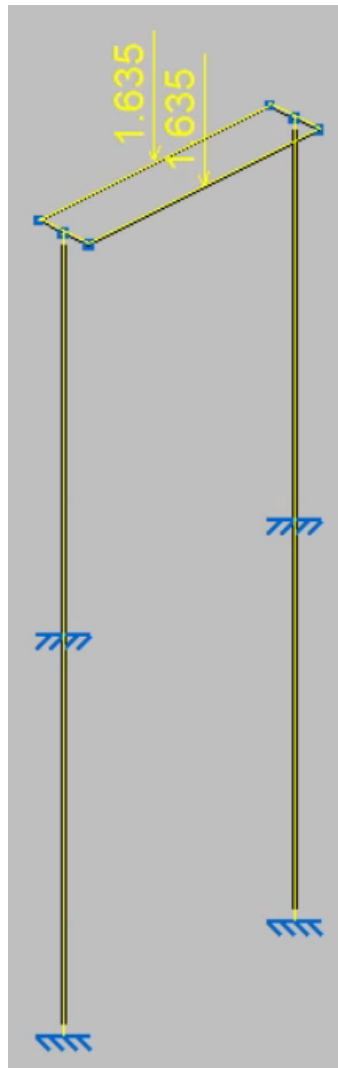


Diagrama 2. Estructura de la compuerta y condiciones. ORIGEN: Cype.

Por lo que, se analizarán los principios de diseño estructural aplicables a la construcción del marco de la compuerta mediante el software de cálculo Cype y en paralelo se empleará el software de cálculo de SolidWorks, en el documento Anejo II: Cálculo estructural. Marco compuerta., dimensionar los perfiles adecuados para el proyecto. Se van a analizar los pilares con perfiles IPE y HEB, y se situaran dos vigas soldadas a cada lado del pilar para repartir la carga. Estas vigas serán un perfil en U con presillas, ya que, aparte de ir soldadas. Se evaluarán sus ventajas y desventajas en función de las cargas esperadas.

Memoria

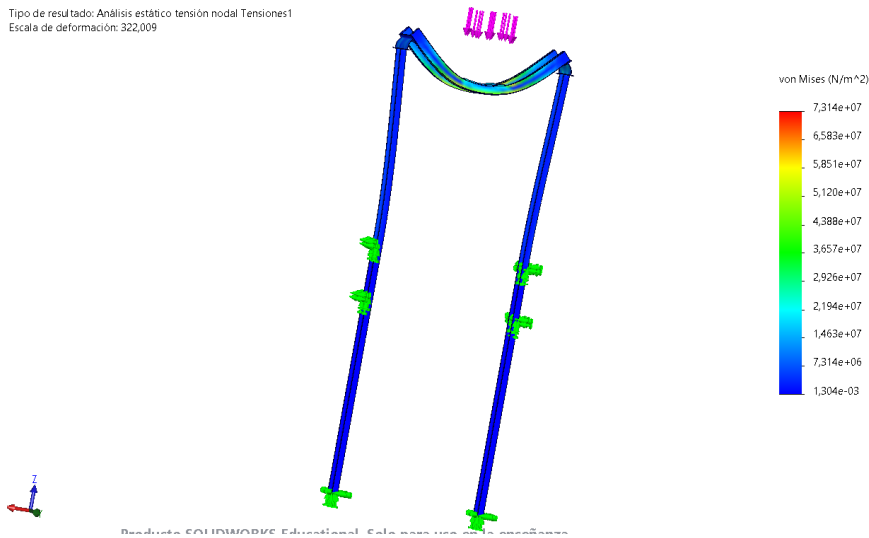


Figura 7. Cálculo estructura. ORIGEN: SolidWorks.

El cálculo se regirá mediante la normativa del código estructural para estructuras de acero, la hipótesis de carga, los valores de pandeo permitidos y flecha máxima dependerán de esta normativa.

Tras el cálculo, se obtiene el dimensionado para perfiles IPE y HEB, siendo IPE 270 y HEB120. Estos resultados se deben a que los perfiles HEB se destacan debido a su mayor capacidad de carga y resistencia estructural. Los pilares HEB ofrecen una sección transversal más robusta y un momento de inercia superior, lo que les permite soportar mayores esfuerzos de flexión y cargas axiales sin comprometer su estabilidad. Mientras que los perfiles IPE son adecuados para aplicaciones que requieren estructuras ligeras y menos costosas, los perfiles HEB proporcionan una mejor distribución de las tensiones y una mayor rigidez. Esta robustez adicional hace que los pilares HEB sean ideales para soportar cargas pesadas y condiciones exigentes, asegurando una mayor durabilidad y seguridad en el diseño estructural. Por lo que, en principio, se decide emplear los pilares HEB120.

Mientras que las vigas, programa ofrece una sección de 180x50x5. Como es una U con presillas soldadas, en el software de cálculo se introdujo un perfil de sección rectangular para simplificar el cálculo. Con las vigas de sección 180 y los pilares de 120, se opta por retomar la decisión y escoger la IPE270 como pilares, para que los perfiles de los pilares tengan la misma altura o superior que las vigas y quede más uniforme.

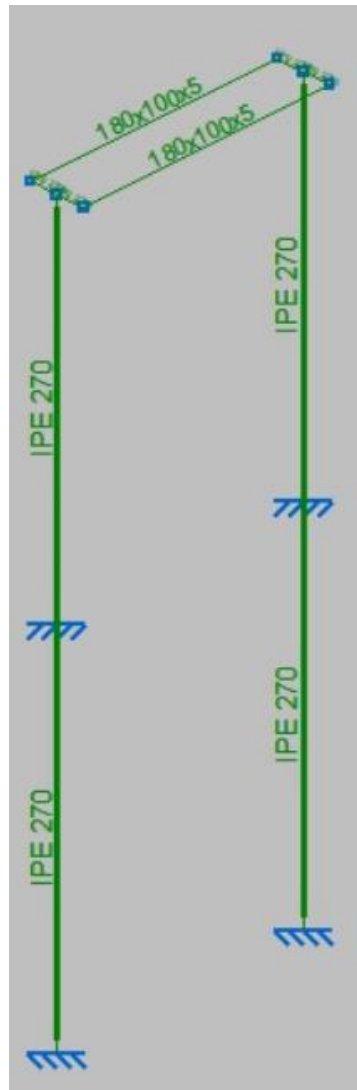


Diagrama 3. Perfiles del marco. ORIGEN: Cype.

9.2. Cálculos de fijación de los nudos

En el diseño y construcción de estructuras hidráulicas, como las compuertas, la soldadura juega un papel fundamental para asegurar la integridad y resistencia de los ensamblajes. Los cálculos de soldadura son esenciales para determinar las especificaciones necesarias que garanticen uniones seguras y duraderas entre los diferentes componentes estructurales. Estos cálculos se regirán por la norma UNE-EN 1993-1-8, Proyecto de estructuras de acero, Parte 1-8: Uniones.

Este cálculo se hará para los rigidizadores unidos al tablero, la unión del tablero con el husillo, la T de unión de los pilares con las vigas y el accionamiento con las vigas.

Para las soldaduras a tope, tanto el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE) como la anterior normativa NBE EA-95 especifican que, si estas soldaduras se realizan correctamente (es decir, de manera continua a lo largo de toda su longitud y con penetración total), no se requiere un cálculo adicional. En este escenario, la resistencia calculada, es decir, la capacidad de soportar cualquier tipo de carga estará determinada

Memoria

por la resistencia del componente más débil de los que están unidos por la soldadura. A parte, el espesor de garganta efectivo de una soldadura en ángulo no debería ser inferior a 3 mm, por lo que para resultados inferiores se tomarán valores de 3 mm.

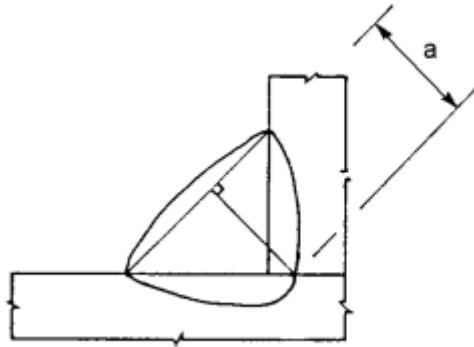


Ilustración 12. Espesor de garganta de una soldadura. ORIGEN: UNE-EN 1993-1-8

El cálculo se realizará mediante SolidWorks para hallar las tensiones generadas en el cordón de soldadura y así saber si es admisible o no. Este cálculo se rige por la fórmula de la normativa:

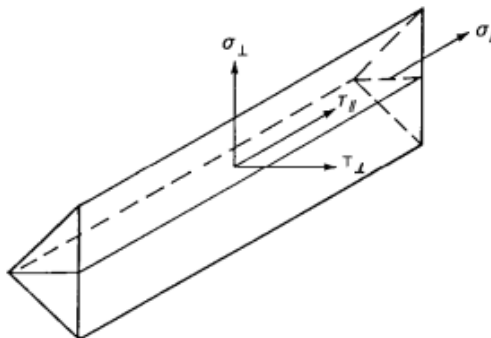


Ilustración 13. Tensiones en la sección de una garganta. ORIGEN: UNE-EN 1993-1-8

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (59)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (60)$$

σ_{\perp} = Tensión normal perpendicular a la garganta de la soldadura

τ_{\perp} = Tensión tangencial (en el plano de garganta) perpendicular a la soldadura

τ_{\parallel} = Tensión tangencial (en el plano de garganta) paralela a la soldadura

Memoria

Dichas tensiones son las que se obtienen por el módulo de cálculo de soldadura de SolidWorks.

γ_{M2} =Coeficiente de minorización de resistencia, en este caso $\gamma_{M2}=1,25$

Resistencia de elementos y secciones transversales	γ_{M0} , γ_{M1} y γ_{M2} véase la Norma EN 1993-1-1
Resistencia de tornillos	γ_{M2}
Resistencia de remaches	
Resistencia de bulones	
Resistencia de soldaduras	
Resistencia de chapas a aplastamiento	
Resistencia al deslizamiento	γ_{M3}
– en el estado límite último (Categoría C)	
– en el estado límite de servicio (Categoría B)	$\gamma_{M3,ser}$
Resistencia a aplastamiento de tornillos de inyección	γ_{M4}
Resistencia de uniones de celosías de perfiles huecos	γ_{M5}
Resistencia de bulones en el estado límite de servicio	$\gamma_{M6,ser}$
Precarga de tornillos de alta resistencia	γ_{M7}
Resistencia del hormigón	γ_c véase la Norma EN 1992

Tabla 30. Coeficientes parciales de seguridad. ORIGEN:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf>

f_u = Resistencia a tracción del acero, en este caso S275JR, 410N/mm²

MATERIAL	RESISTENCIA A TRACCIÓN (N/MM ²)
S 235	360
S 275	410
S 355	510

Tabla 31. Resistencia a tracción de aceros. ORIGEN:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf>

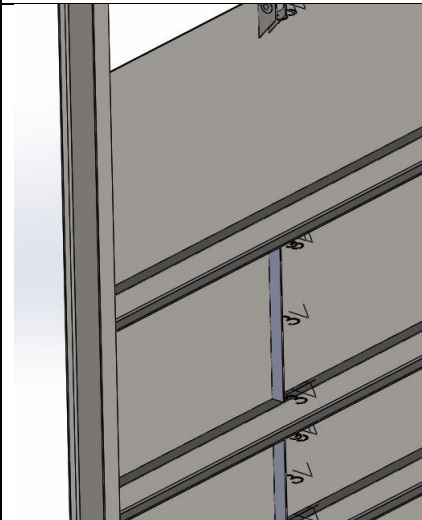
β_w = Factor de correlación, en este caso 0,85

Memoria

Normas y tipos de acero			Coeficiente de correlación β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

Tabla 32. Coeficiente de correlación para soldaduras. ORIGEN:
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf>

Los coeficientes dados, serían los datos a introducir al cálculo de soldadura de SolidWorks y aparte de calcular las tensiones del cordón también propone espesor necesario para que cumpla los criterios de la normativa. Dando como resultado las siguientes medidas.

Soldadura	Detalle	Espesor de cordón
Rigidizadores con tablero		3mm por un lado

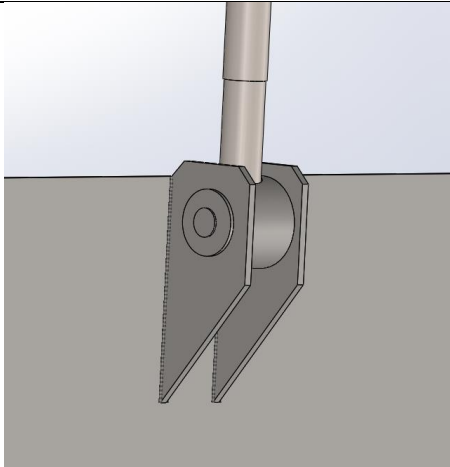
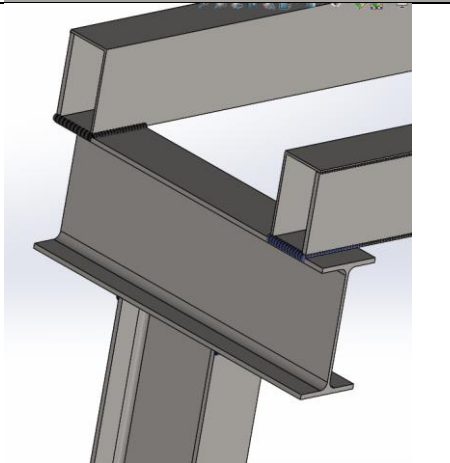
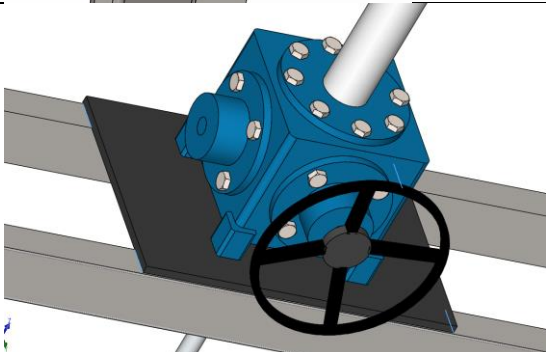
<p>Unión tablero con husillo</p>		<p>3mm ambos lados</p>
<p>Soporte tipo T</p>		<p>8,5mm por un lado</p>
<p>Accionamiento con vigas</p>		<p>3,8mm por un lado</p>

Tabla 33. Resultados de soldadura.

10. Fijación en obra civil

10.1. Introducción

La correcta fijación de la compuerta hidráulica a la obra civil es crucial para asegurar su estabilidad y funcionamiento eficiente. En este proyecto, la compuerta será empotrada en las paredes del canal, lo que requiere una atención meticulosa al diseño y ejecución de los anclajes y las uniones estructurales. Este apartado detalla los procedimientos y consideraciones necesarias para la fijación de la compuerta en el canal, asegurando que cumpla con los estándares de seguridad y durabilidad requeridos.

10.2. Diseño de los Anclajes

Se utilizarán anclajes de acero de alta resistencia, diseñados para soportar las cargas estáticas y dinámicas a las que estará sometida la compuerta. Los anclajes serán del tipo Hilti o similar, conocidos por su capacidad de ofrecer una fijación segura y duradera en estructuras de hormigón. Los anclajes se distribuirán uniformemente a lo largo de las zonas de contacto de la compuerta con las paredes del canal. Esta distribución se realizará de acuerdo con las especificaciones técnicas y los cálculos estructurales para asegurar una adecuada transferencia de cargas.

10.3. Procedimiento de Anclaje

Se realizarán perforaciones en las paredes del canal siguiendo el diseño y distribución previamente establecidos. Estas perforaciones deben ser precisas para garantizar una correcta colocación de los anclajes. Los anclajes se insertarán en las perforaciones y se fijarán utilizando el sistema de anclaje especificado. Se verificará que todos los anclajes queden firmemente asegurados y que la fijación cumpla con los parámetros de seguridad establecidos, para más tarde realizar el vertido de hormigón.

Una vez fijados los anclajes, se procederá a la colocación de la compuerta en su posición definitiva. La compuerta será alineada cuidadosamente con las perforaciones de los anclajes para asegurar un ajuste preciso. Se realizarán los ajustes finales para garantizar que la compuerta esté correctamente nivelada y alineada. Posteriormente, se llevará a cabo una inspección detallada para verificar que todos los anclajes y puntos de fijación estén firmemente asegurados.

Para asegurar la estanqueidad de la compuerta, se aplicarán selladores de tipo J mencionados anteriormente en todas las uniones y puntos de contacto con las paredes del canal. Esto evitará filtraciones y asegurará un funcionamiento óptimo de la compuerta. Y se aplicarán recubrimientos anticorrosivos a todas las partes metálicas expuestas, incluyendo los anclajes y las estructuras de fijación. Esto prolongará la vida útil de la compuerta y reducirá los costos de mantenimiento a largo plazo.

10.4. Conclusión

La fijación de la compuerta hidráulica a las paredes del canal es un proceso crítico que requiere una planificación cuidadosa y una ejecución precisa. Al utilizar anclajes de alta resistencia y seguir procedimientos rigurosos de instalación, se garantiza que la compuerta estará firmemente asegurada y operará de manera segura y eficiente. El cumplimiento con las normativas de seguridad y los estándares de calidad asegura la durabilidad y fiabilidad del sistema de compuerta hidráulica en la Acequia Vieja de Almoradí.

Memoria

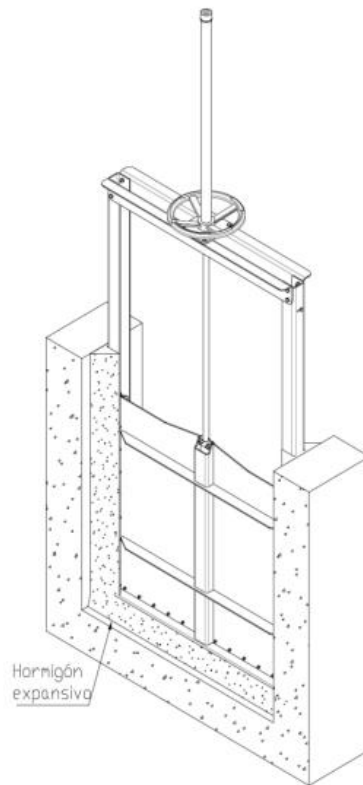


Figura 8. Marco embebido en hormigón. ORIGEN: ORBINOX.

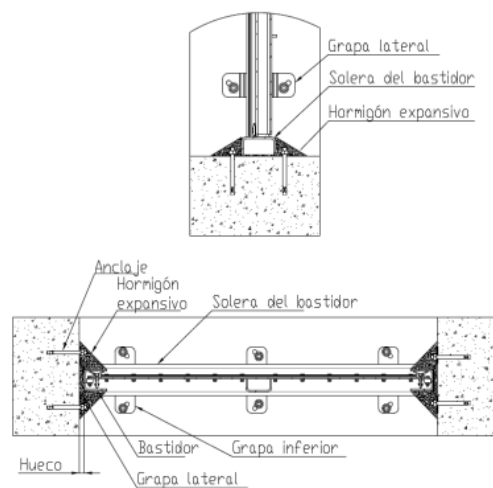


Figura 9. Vista de sección de fijación de compuerta. ORIGEN: ORBINOX.

11. Tolerancias

En el diseño y construcción de la compuerta hidráulica, las tolerancias juegan un papel crucial para asegurar que todas las piezas encajen correctamente y funcionen de manera eficiente. Las tolerancias especificadas en los planos y documentos técnicos establecen los límites permisibles de variación en las dimensiones de los componentes y las uniones.

Para este proyecto, se han definido tolerancias estrictas en todas las etapas de fabricación y montaje, garantizando la precisión necesaria para el correcto funcionamiento de la compuerta. Las tolerancias dimensionales aseguran que los componentes se ensamblen sin dificultades, evitando problemas de ajuste y asegurando la integridad estructural. Asimismo, las tolerancias en los ángulos y alineaciones son esenciales para el correcto posicionamiento y operación de la compuerta, evitando deformaciones y asegurando la estanqueidad del sistema. Según DIN 8570:

Degree of accuracy	Nominal dimension range (mm)									
	Over 30 up to 120	Over 120 up to 315	Over 315 up to 1000	Over 1000 up to 2000	Over 2000 up to 4000	Over 4000 up to 8000	Over 8000 up to 12000	Over 12000 up to 16000	Over 16000 up to 20000	Over 20000
A	±1	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9
B	±2	±2	±3	±4	±6	±8	±10	±12	±14	±16
C	±3	±4	±6	±8	±11	±14	±18	±21	±24	±27
D	±4	±7	±9	±12	±16	±21	±27	±32	±36	±40

A permissible variation of ± 1 applies to dimensions up to 30 mm.

Tabla 34. Tolerancias a seguir. ORIGEN: DIN 8570.

12. Análisis medioambiental

12.1. Introducción

El diseño y la implementación de cualquier proyecto de infraestructura deben tener en cuenta su impacto en el medio ambiente. En este estudio se analiza el impacto ambiental del proyecto de diseño de una compuerta hidráulica en Almoradí, Alicante, siguiendo las directrices establecidas por la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

12.2. Marco Legal

En España, la Ley 21/2013 regula los procedimientos de evaluación ambiental, incluyendo tanto la evaluación ambiental estratégica de planes y programas como la evaluación de impacto ambiental de proyectos. Esta ley transpone las directivas comunitarias al derecho español, garantizando que los proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente sean sometidos a una adecuada evaluación antes de su aprobación.

12.3. Objetivo del Estudio

El objetivo de este estudio es identificar, evaluar y mitigar los impactos ambientales potenciales asociados con la construcción y operación de la compuerta hidráulica. Esto incluye un análisis detallado de las fases de diseño, construcción, explotación y abandono del proyecto.

12.4. Descripción del Proyecto

El proyecto consiste en la instalación de una compuerta hidráulica en la Acequia Vieja de Almoradí, provincia de Alicante. La compuerta está diseñada para regular el flujo de agua,

mejorando la gestión del recurso hídrico en la zona. Se utilizarán materiales como el acero estructural S-275JR para garantizar la durabilidad y eficiencia del sistema.

12.5. Evaluación de Impacto Ambiental

12.5.1. Identificación de Impactos:

- **Fase de Construcción:** Polvo y ruido generados por la maquinaria, alteración del paisaje, y posibles afectaciones a la fauna y flora local.
- **Fase de Operación:** Cambios en el flujo y calidad del agua, posible afectación a los ecosistemas acuáticos y terrestres adyacentes.
- **Fase de Abandono:** Riesgos asociados con la desmantelación de la infraestructura y la rehabilitación del sitio.

12.5.2. Medidas de Mitigación:

- **Construcción:** Uso de barreras anti-ruido, control del polvo mediante riego de caminos, y protección de áreas sensibles.
- **Operación:** Monitoreo continuo de la calidad del agua, mantenimiento regular de la compuerta y sistemas asociados para evitar fallos.
- **Abandono:** Plan detallado de desmantelación y restauración del entorno a su estado original o mejorado.

12.5.3. Programa de Vigilancia Ambiental (PVA)

Implementación de un PVA para todas las fases del proyecto, asegurando que las medidas de mitigación se lleven a cabo de manera efectiva y que se cumpla con las normativas ambientales vigentes.

12.6. Conclusiones

La realización de este estudio medioambiental asegura que el diseño y la ejecución del proyecto de la compuerta hidráulica se realicen de manera sostenible, minimizando los impactos negativos en el medio ambiente. La adecuada implementación de las medidas de mitigación y el seguimiento continuo a través del PVA son esenciales para garantizar el éxito del proyecto y la protección del entorno natural del municipio de Almoradí.

13. Presupuesto

El presente apartado de presupuesto detalla los costos asociados con el diseño, fabricación, instalación y mantenimiento de una compuerta hidráulica en el municipio de Almoradí, provincia de Alicante. Este presupuesto ha sido elaborado considerando los precios actuales del mercado para los materiales, la mano de obra y los servicios necesarios para la ejecución completa del proyecto. Se ofrece descuentos en el proyecto en cuanto a la fabricación de piezas externas y la ingeniería juntamente con el servicio de mantenimiento de la compuerta. Por lo que este proyecto consta de un total de 47.108,28€.

Memoria

normativas vigentes y minimiza los impactos negativos en el entorno. La implementación de un Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) asegura el seguimiento continuo y la mitigación efectiva de cualquier posible afectación ambiental.

Finalmente, el presupuesto detallado proporciona una visión clara de los costos involucrados, asegurando la viabilidad económica del proyecto. La compuerta hidráulica diseñada no solo mejora la gestión de los recursos hídricos en la región, sino que también contribuye a la protección del medio ambiente y al desarrollo sostenible del municipio de Almoradí.

Anejo I: Cálculo Estructural tablero y rigidizadores

1. Introducción

Se analiza la necesidad de rigidizadores horizontales y verticales para proporcionar rigidez adicional al tablero de la compuerta. Los cálculos aseguran que el número y disposición de los rigidizadores optimicen la resistencia estructural sin aumentar innecesariamente el peso y el costo.

2. Simulación de carga al tablero SolidWorks

En el diseño de una compuerta hidráulica, los rigidizadores juegan un papel crucial para garantizar la integridad estructural y la durabilidad del tablero bajo cargas operativas. Los rigidizadores son elementos estructurales que proporcionan soporte adicional al tablero de la compuerta, ayudando a distribuir las cargas y prevenir deformaciones que puedan comprometer su funcionamiento.

La simulación de carga hidráulica presentada a continuación ilustra un escenario en el que el tablero de la compuerta está sometido a fuerzas hidrostáticas sin la adecuada implementación de rigidizadores. Como se observa en la simulación, la ausencia de estos elementos de refuerzo provoca una falla estructural del tablero bajo la presión del agua,

En la simulación, se aplicaron fuerzas hidrostáticas total $F=247,68\text{kN}$ en el centro de presiones $y=1.33\text{m}$, representativas de las condiciones reales de operación de la compuerta. La presión ejercida por el agua, en ausencia de rigidizadores adecuados, llevó al colapso del tablero, demostrando la importancia crítica de estos componentes.

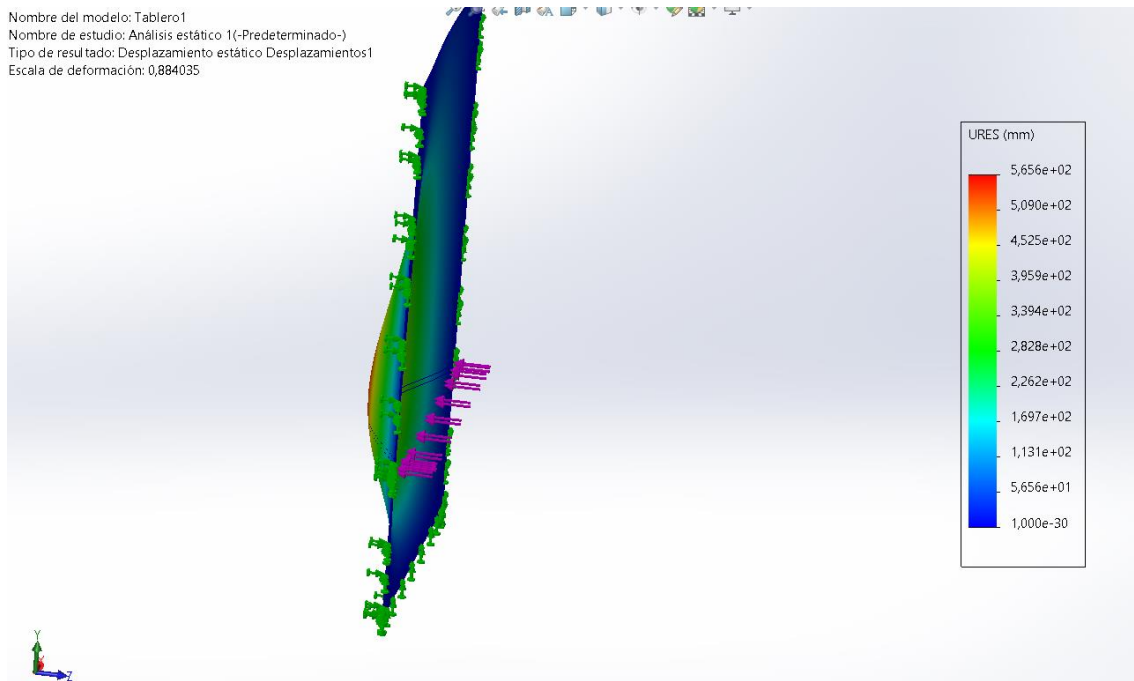


Figura 10. Simulación SolidWorks del tablero sin rigidizadores. ORIGEN: SolidWorks.

Cálculo Estructural tablero y rigidizadores

Mientras que, con la adición de rigidizadores horizontales, como UPN 240 y pletinas de 10mm verticales que están soldadas al tablero y a los rigidizadores, se logra reducir el colapso mencionado y conseguir resultados más que deseados y aceptables para la compuerta hidráulica llegando a un desplazamiento máximo de 1,31mm.

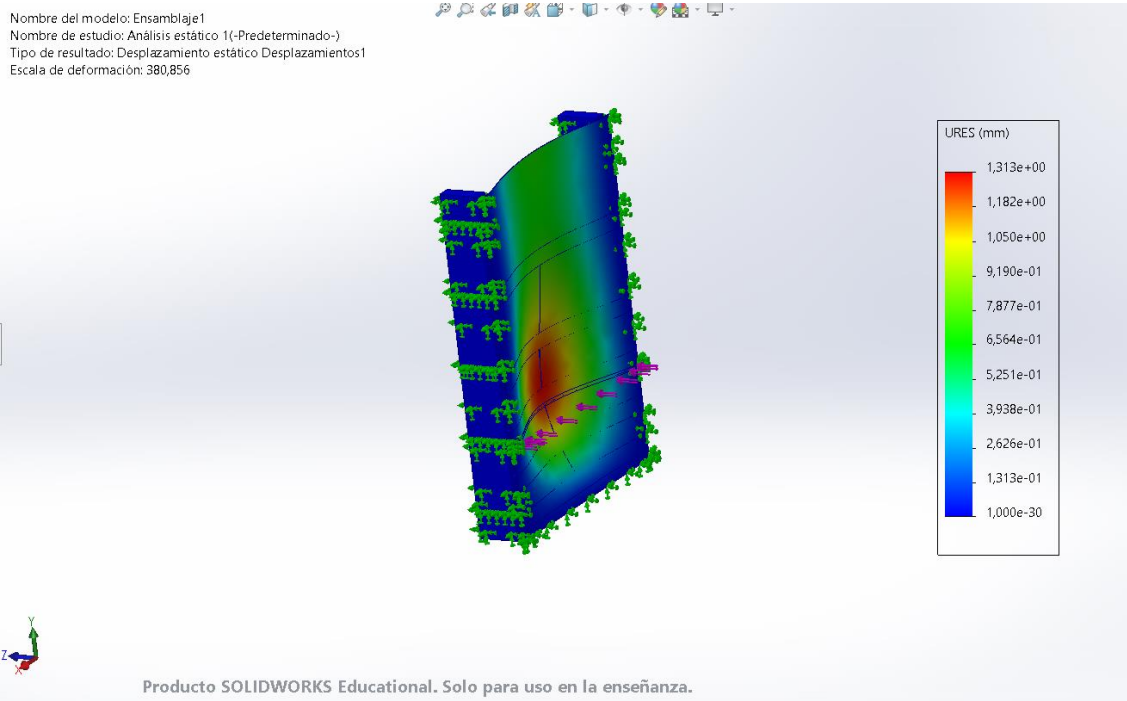


Figura 11. Simulación en SolidWorks del tablero con rigidizadores, desplazamientos A. ORIGEN: SolidWorks.

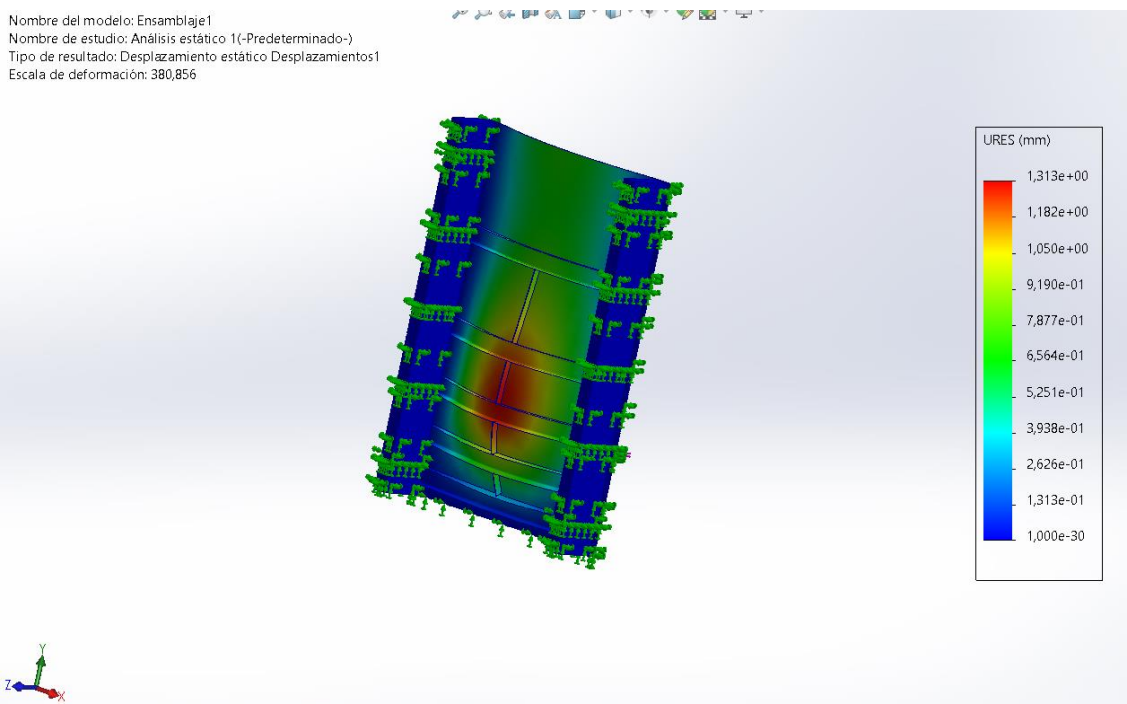


Figura 12. Simulación en SolidWorks del tablero con rigidizadores, desplazamientos B. ORIGEN: SolidWorks.

3. Resultados Cype para IPN



1. ESTRUCTURA

1.1. Cargas

1.1.1. Barras

Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeciales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeciales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: t
- Momentos puntuales: t·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeciales: t/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Producido por una versión educativa de CYPE

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N1/N2	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	Peso propio	Faja	2.035	-	0.200	3.300	Globales	0.000	0.000	-1.000

1.2. Resultados

1.2.1. Barras

1.2.1.1. Esfuerzos

Referencias:

N: Esfuerzo axil (t)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (t)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (t)

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (t·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (t·m)

1.2.1.1.1. Hipótesis

Esfuerzos en barras, por hipótesis												
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra									
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m	
N1/N2	Peso propio	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	-3.218	-2.819	-2.014	-0.805	0.000	0.805	2.014	2.819	3.218	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



Esfuerzos en barras, por hipótesis											
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
		My	0.000	1.212	2.152	2.974	3.131	2.974	2.152	1.212	0.000
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1.2.1.1.2. Combinaciones

Esfuerzos en barras, por combinación													
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra									
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m	
N1/N2	Acero laminado	0.8-PP	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	-2.574	-2.255	-1.611	-0.644	0.000	0.644	1.611	2.255	2.574	
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	0.000	0.970	1.722	2.379	2.505	2.379	1.722	0.970	0.000	
			Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1.35-PP	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Vz	-4.344	-3.806	-2.718	-1.087	0.000	1.087	2.718	3.806	4.344		
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		My	0.000	1.637	2.905	4.015	4.227	4.015	2.905	1.637	0.000		
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

1.2.1.1.3. Envoltentes

Envoltentes de los esfuerzos en barras												
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra									
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m	
N1/N2	Acero laminado	N _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		N _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{min}	-4.344	-3.806	-2.718	-1.087	0.000	0.644	1.611	2.255	2.574	
		Vz _{máx}	-2.574	-2.255	-1.611	-0.644	0.000	1.087	2.718	3.806	4.344	
		Mt _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{min}	0.000	0.970	1.722	2.379	2.505	2.379	1.722	0.970	0.000	
		My _{máx}	0.000	1.637	2.905	4.015	4.227	4.015	2.905	1.637	0.000	
		Mz _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE

1.2.1.2. Resistencia

Referencias:

- N: Esfuerzo axil (t)
- Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (t)
- Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (t)
- Mt: Momento torsor (t·m)
- My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (t·m)
- Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (t·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η: Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si



se cumple que $\eta \leq 100 \%$.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N1/N2	38.43	1.750	0.000	0.000	0.000	0.000	4.227	0.000	G	Cumple

1.2.1.3. Flechas

Referencias:

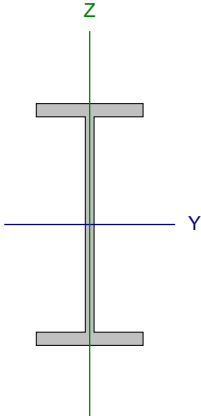
Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Flechas									
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz		
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz		
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	
N1/N2	0.000	0.00	1.750	4.61	0.000	0.00	0.000	0.00	
	-	L/(>1000)	1.750	L/759.7	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	

1.2.1.4. Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N1/N2

Perfil: IPN 240 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
		N1	N2	3.500	46.10	4250.00	221.00
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.
	β		1.00	1.00	0.00		0.00
	L _k		3.500	3.500	0.000		0.000
	C _m		1.000	1.000	1.000		1.000
	C ₁		-		1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$24.57 \leq 265.14 \quad \checkmark$$

Donde:

 h_w : Altura del alma.

$h_w : \underline{213.80} \text{ mm}$

 t_w : Espesor del alma.

$t_w : \underline{8.70} \text{ mm}$

 A_w : Área del alma.

$A_w : \underline{18.60} \text{ cm}^2$

 $A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef} : \underline{13.89} \text{ cm}^2$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$k : \underline{0.30}$

E: Módulo de elasticidad.

$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$

 f_{yf} : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Producido por una herramienta de CYPE

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

**Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)**

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.384} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.750 m del nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{4.227} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{10.999} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{412.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.130} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{4.344} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{33.521} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{21.75} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{46.10} \text{ cm}^2$$

b: Ancho de la sección.

$$b : \underline{106.00} \text{ mm}$$

 t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{13.10} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.70} \text{ mm}$$

r: Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{8.70} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$22.57 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

 I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{22.57}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

 I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

 f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)**

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$4.334 \text{ t} \leq 16.760 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.194 m del nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 4.334 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 33.521 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Producción por una versión de software de evaluación de estructuras



1.2.1.5. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_z M_y V_z$	M_t		$M_y V_z$	$M_z V_y$
N1/N2	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.194 m $\bar{\lambda}_w \leq \bar{\lambda}_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 1.75 m $\eta = 38.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta = 13.0$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.194 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE h = 38.4
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_z M_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M: Resistencia a torsión MV_y: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados MV_z: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽¹⁰⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 																

4. Resultados Cype UPN



Desplazamientos de los nudos, por combinación								
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	-4.701	0.000	0.000
N2	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	4.701	0.000	0.000

1.2.1.1.3. Envoltentes

Envoltente de los desplazamientos en nudos								
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Desplazamientos	Valor mínimo de la envoltente	0.000	0.000	0.000	-4.701	0.000	0.000
		Valor máximo de la envoltente	0.000	0.000	0.000	-4.701	0.000	0.000
N2	Desplazamientos	Valor mínimo de la envoltente	0.000	0.000	0.000	4.701	0.000	0.000
		Valor máximo de la envoltente	0.000	0.000	0.000	4.701	0.000	0.000

2.1.2. Reacciones

Referencias:

Rx, Ry, Rz: Reacciones en nudos con desplazamientos coaccionados (fuerzas).

Mx, My, Mz: Reacciones en nudos con giros coaccionados (momentos).

1.2.1.2.1. Hipótesis

Reacciones en los nudos, por hipótesis							
Referencia	Descripción	Reacciones en ejes globales					
		Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Peso propio	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
N2	Peso propio	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000

1.2.1.2.2. Combinaciones

Reacciones en los nudos, por combinación								
Referencia	Combinación		Reacciones en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Hormigón en cimentaciones	PP	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
		1.6-PP	0.000	0.000	5.135	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	PP	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
N2	Hormigón en cimentaciones	PP	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
		1.6-PP	0.000	0.000	5.135	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	PP	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000

Nota: Las combinaciones de hormigón indicadas son las mismas que se utilizan para comprobar el estado límite de equilibrio en la cimentación.

1.2.1.2.3. Envoltentes



Envolventes de las reacciones en nudos								
Referencia	Combinación		Reacciones en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	5.135	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
N2	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	5.135	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	3.209	0.000	0.000	0.000

Nota: Las combinaciones de hormigón indicadas son las mismas que se utilizan para comprobar el estado límite de equilibrio en la cimentación.

1.2.2. Barras

1.2.2.1. Esfuerzos

Referencias:

N: Esfuerzo axial (t)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (t)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (t)

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (t·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (t·m)

1.2.2.1.1. Hipótesis

Esfuerzos en barras, por hipótesis												
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra									
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m	
N1/N2	Peso propio	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	-3.209	-2.812	-2.009	-0.804	0.000	0.804	2.009	2.812	3.209	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	1.209	2.147	2.967	3.123	2.967	2.147	1.209	0.000	
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1.2.2.1.2. Combinaciones

Esfuerzos en barras, por combinación														
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra										
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m		
N1/N2	Acero laminado	0.8-PP	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			Vz	-2.567	-2.250	-1.607	-0.643	0.000	0.643	1.607	2.250	2.567		
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			My	0.000	0.967	1.717	2.374	2.499	2.374	1.717	0.967	0.000		
			Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			1.35-PP	N	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
				Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
				Vz	-4.333	-3.797	-2.712	-1.085	0.000	1.085	2.712	3.797	4.333	
				Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				My	0.000	1.633	2.898	4.005	4.216	4.005	2.898	1.633	0.000	
				Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1.2.2.1.3. Envolventes

Producido por una versión educativa de CYPE



Envolventes de los esfuerzos en barras												
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra									
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m	
N1/N2	Acero laminado	N _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		N _{max}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{max}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{min}	-4.333	-3.797	-2.712	-1.085	0.000	0.643	1.607	2.250	2.567	
		Vz _{max}	-2.567	-2.250	-1.607	-0.643	0.000	1.085	2.712	3.797	4.333	
		Mt _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{max}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{min}	0.000	0.967	1.717	2.374	2.499	2.374	1.717	0.967	0.000	
		My _{max}	0.000	1.633	2.898	4.005	4.216	4.005	2.898	1.633	0.000	
		Mz _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{max}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1.2.2.2. Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (t)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (t)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (t)

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (t·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (t·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η: Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100\%$.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N1/N2	44.11	1.750	0.000	0.000	0.000	0.000	4.216	0.000	G	Cumple

1.2.2.3. Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

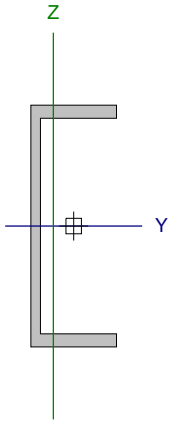
Flechas									
Grupo	Flecha máxima absoluta xy		Flecha máxima absoluta xz		Flecha activa absoluta xy		Flecha activa absoluta xz		
	Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima relativa xz		Flecha activa relativa xy		Flecha activa relativa xz		
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	
N1/N2	0.000	0.00	1.750	5.37	0.000	0.00	0.000	0.00	
	-	L/(>1000)	1.750	L/652.3	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	



1.2.2.4. Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N1/N2

Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas						
Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	y _g ⁽³⁾ (mm)	z _g ⁽³⁾ (mm)	
N1	N2	3.500	42.30	3600.00	248.00	19.70	-20.20	0.00	
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme ⁽³⁾ Coordenadas del centro de gravedad									
		Pandeo			Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.				
β		1.00	1.00	0.00	0.00				
L _k		3.500	3.500	0.000	0.000				
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000				
C ₁		-			1.000				
Notación: b: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico									

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$22.53 \leq 310.74 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.t_w: Espesor del alma.A_w: Área del alma.A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \underline{214.00} \text{ mm}$$

$$t_w : \underline{9.50} \text{ mm}$$

$$A_w : \underline{20.33} \text{ cm}^2$$

$$A_{fc,ef} : \underline{11.05} \text{ cm}^2$$

$$k : \underline{0.30}$$

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.441} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.750 m del nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{4.216} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{9.558} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{358.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.122} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{4.333} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{35.645} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{23.13} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f$$

Siendo:

 A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{42.30} \text{ cm}^2$$

 b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{85.00} \text{ mm}$$

 t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{13.00} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{9.50} \text{ mm}$$

 r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{13.00} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$22.53 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

 I_w : Esbeltez del alma.

$$I_w : \underline{22.53}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

 I_{\max} : Esbeltez máxima.

$$I_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

 e : Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

 f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)**

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$4.324 \text{ t} \leq 17.822 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.194 m del nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

V_{Ed} : 4.324 t

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$V_{c,Rd}$: 35.645 t

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



1.2.2.5. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado		
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_y M_z V_y V_z$	M_t		$M_y V_z$	$M_z V_y$
N1/N2	N.P. ⁽¹⁾	x: 0.194 m $\bar{\lambda}_w \leq \bar{\lambda}_{w,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	x: 1.75 m $\eta = 44.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁴⁾	x: 0 m $\eta = 12.2$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁵⁾	x: 0.194 m $\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁶⁾	N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	N.P. ⁽¹⁰⁾	CUMPLE h = 44.1
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1: Limitación de esbeltez λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N_c: Resistencia a compresión M_y: Resistencia a flexión eje Y M_z: Resistencia a flexión eje Z V_z: Resistencia a corte Z V_y: Resistencia a corte Y $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados $NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados $NM_y M_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M: Resistencia a torsión MV_y: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados MV_z: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede <p>Comprobaciones que no proceden (N.P.):</p> <ul style="list-style-type: none"> ⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción. ⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción. ⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. ⁽⁴⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. ⁽⁵⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. ⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁷⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. ⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. ⁽¹⁰⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. 																

Anejo II: Cálculo estructural. Marco compuerta.

1. Introducción

El Anejo II del presente proyecto se dedica al cálculo estructural del marco de la compuerta hidráulica, un componente esencial para garantizar la integridad y el correcto funcionamiento del sistema en condiciones operativas diversas. En este apartado se detallan los análisis y cálculos realizados para verificar la resistencia y estabilidad del marco de la compuerta, utilizando herramientas de ingeniería avanzadas como CYPE y SolidWorks.

El software CYPE ha sido empleado para realizar los cálculos estructurales y análisis de esfuerzos del marco de la compuerta, proporcionando una evaluación precisa de su comportamiento bajo diferentes cargas y condiciones. Este programa permite simular las fuerzas y momentos a los que estará sometido el marco, asegurando que cumple con los requisitos de seguridad y normativa vigente.

Adicionalmente, se ha utilizado SolidWorks para llevar a cabo simulaciones más detalladas y específicas, enfocadas en el comportamiento del material y las deformaciones bajo cargas aplicadas.

A través de estos cálculos y simulaciones, se busca asegurar que el marco de la compuerta pueda soportar las cargas estáticas y dinámicas durante su operación, garantizando una vida útil prolongada y minimizando los riesgos de fallos estructurales. Este análisis integral es fundamental para el éxito del proyecto, asegurando que todos los componentes del sistema de compuerta hidráulica funcionen de manera segura y eficiente.

2. Cálculo estructural

2.1 SolidWorks

En el apartado de cálculo estructural realizado mediante SolidWorks, se ha evaluado el comportamiento del marco de la compuerta bajo la carga máxima operativa. Los resultados de la simulación muestran que las deflexiones son mínimas, con valores máximos de 3,3 mm en las vigas y 0,65 mm en los pilares. Estas deflexiones reducidas indican que la estructura presenta un comportamiento óptimo en términos de rigidez y estabilidad. La baja magnitud de las deflexiones garantiza que el marco de la compuerta pueda soportar las cargas sin comprometer la integridad estructural, lo que contribuye a la seguridad general del sistema. Además, estas deflexiones mínimas evitan el riesgo de atascamiento del tablero durante su desplazamiento a lo largo de la estructura, asegurando un funcionamiento suave y eficiente.

Escala de deformación: 322,009

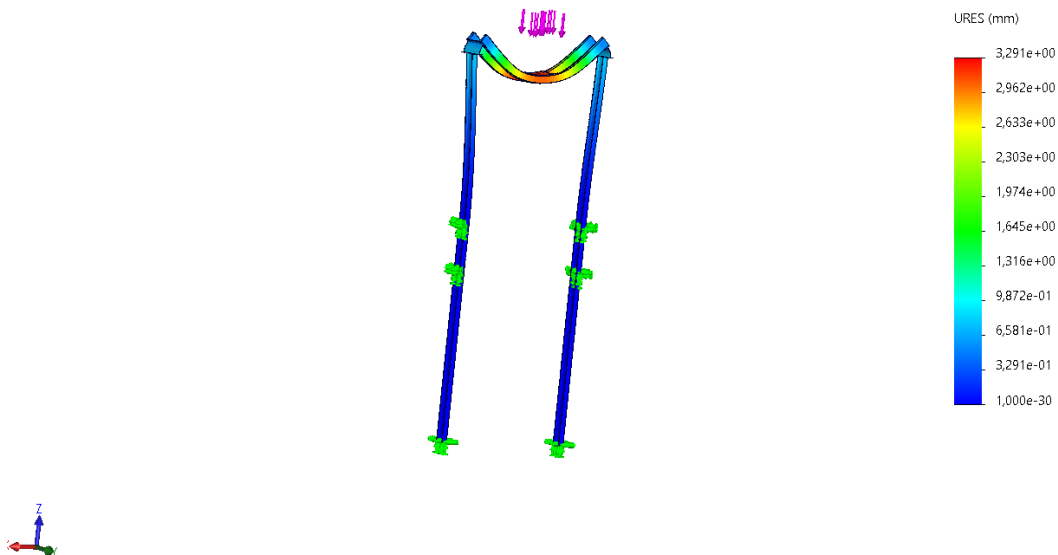


Figura 14. Deformaciones totales en el marco. ORIGEN: SolidWorks.

2.2 Cype

ÍNDICE

1. DATOS DE OBRA.....	2
1.1. Normas consideradas.....	2
1.2. Estados límite.....	2
1.2.1. Situaciones de proyecto.....	2
2. ESTRUCTURA.....	3
2.1. Geometría.....	3
2.1.1. Nudos.....	3
2.1.2. Barras.....	3
2.2. Cargas.....	5
2.2.1. Barras.....	5
2.3. Resultados.....	6
2.3.1. Nudos.....	6
2.3.2. Barras.....	9



1. DATOS DE OBRA

1.1. Normas consideradas

Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A

1.2. Estados límite

E.L.U. de rotura. Acero laminado	CTE Cota de nieve: Altitud inferior o igual a 1000 m
Desplazamientos	Acciones características

1.2.1. Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

$\Psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal

$\Psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-



Desplazamientos

Característica		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000

2. ESTRUCTURA

2.1. Geometría

2.1.1. Nudos

Referencias:

$\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z$: Desplazamientos prescritos en ejes globales.

$\theta_x, \theta_y, \theta_z$: Giros prescritos en ejes globales.

Cada grado de libertad se marca con 'X' si está coaccionado y, en caso contrario, con '-'.
 Producido por una versión educativa de CYPE

Nudos										
Referencia	Coordenadas			Vinculación exterior						Vinculación interior
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Δ_x	Δ_y	Δ_z	θ_x	θ_y	θ_z	
N1	0.000	0.000	0.000	X	X	X	X	X	X	Empotrado
N2	0.000	0.000	5.000	X	X	X	X	X	X	Empotrado
N3	0.000	0.000	10.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N4	0.375	0.000	10.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N5	-0.375	0.000	10.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N6	0.375	3.500	10.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N7	-0.375	3.500	10.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N8	0.000	3.500	10.000	-	-	-	-	-	-	Empotrado
N9	0.000	3.500	5.000	X	X	X	X	X	X	Empotrado
N10	0.000	3.500	0.000	X	X	X	X	X	X	Empotrado

2.1.2. Barras

2.1.2.1. Materiales utilizados

Materiales utilizados							
Material		E	ν	G	f_y	α_t	γ
Tipo	Designación	(kp/cm ²)		(kp/cm ²)	(kp/cm ²)	(m/m°C)	(t/m ³)
Acero laminado	S275	2140672.8	0.300	825688.1	2803.3	0.000012	7.850
Notación: E: Módulo de elasticidad ν : Módulo de Poisson G: Módulo de cortadura f_y : Límite elástico α_t : Coeficiente de dilatación γ : Peso específico							



2.1.2.2. Descripción

Descripción									
Material		Barra (Ni/Nf)	Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	β_{xy}	β_{xz}	Lb _{Sup.} (m)	Lb _{Inf.} (m)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	N1/N2	N1/N3	IPE 270 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N2/N3	N1/N3	IPE 270 (IPE)	5.000	0.70	0.70	-	-
		N3/N4	N3/N4	IPE 270 (IPE)	0.375	1.00	1.00	-	-
		N5/N3	N5/N3	IPE 270 (IPE)	0.375	1.00	1.00	-	-
		N7/N8	N7/N8	IPE 270 (IPE)	0.375	1.00	1.00	-	-
		N8/N6	N8/N6	IPE 270 (IPE)	0.375	1.00	1.00	-	-
		N10/N9	N10/N8	IPE 270 (IPE)	5.000	1.00	1.00	-	-
		N9/N8	N10/N8	IPE 270 (IPE)	5.000	0.70	0.70	-	-
		N4/N6	N4/N6	180x100x5 (U con refuerzo)	3.500	1.00	1.00	-	-
N5/N7	N5/N7	180x100x5 (U con refuerzo)	3.500	1.00	1.00	-	-		

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final
 β_{xy} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'
 β_{xz} : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ'
Lb_{Sup.}: Separación entre arriostramientos del ala superior
Lb_{Inf.}: Separación entre arriostramientos del ala inferior

Producido por una versión educativa de CYPE

2.1.2.3. Características mecánicas

Tipos de pieza	
Ref.	Piezas
1	N1/N3, N3/N4, N5/N3, N7/N8, N8/N6 y N10/N8
2	N4/N6 y N5/N7

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm ²)	Avy (cm ²)	Avz (cm ²)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)	It (cm ⁴)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	1	IPE 270, (IPE)	45.90	20.66	14.83	5790.00	420.00	15.90
		2	180x100x5, (U con refuerzo)	27.00	9.00	17.00	1175.25	467.25	1025.36

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
 Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.



2.1.2.4. Tabla de medición

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275	N1/N3	IPE 270 (IPE)	10.000	0.046	360.32
		N3/N4	IPE 270 (IPE)	0.375	0.002	13.51
		N5/N3	IPE 270 (IPE)	0.375	0.002	13.51
		N7/N8	IPE 270 (IPE)	0.375	0.002	13.51
		N8/N6	IPE 270 (IPE)	0.375	0.002	13.51
		N10/N8	IPE 270 (IPE)	10.000	0.046	360.32
		N4/N6	180x100x5 (U con refuerzo)	3.500	0.009	74.18
		N5/N7	180x100x5 (U con refuerzo)	3.500	0.009	74.18

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final

2.1.2.5. Resumen de medición

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m ³)	Serie (m ³)	Material (m ³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	IPE	IPE 270	21.500	21.500	28.500	0.099	0.099	0.118	774.68	774.68	923.04
			180x100x5	7.000			0.019			148.37		
		U con refuerzo	180x100x5	7.000	0.019		148.37					

2.1.2.6. Medición de superficies

Acero laminado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m ² /m)	Longitud (m)	Superficie (m ²)
IPE	IPE 270	1.067	21.500	22.936
U con refuerzo	180x100x5	0.560	7.000	3.920
Total				26.856

2.2. Cargas

2.2.1. Barras

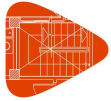
Referencias:

'P1', 'P2':

- Cargas puntuales, uniformes, en faja y momentos puntuales: 'P1' es el valor de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales: 'P1' es el valor de la carga en el punto donde comienza (L1) y 'P2' es el valor de la carga en el punto donde termina (L2).
- Cargas triangulares: 'P1' es el valor máximo de la carga. 'P2' no se utiliza.
- Incrementos de temperatura: 'P1' y 'P2' son los valores de la temperatura en las caras exteriores o paramentos de la pieza. La orientación de la variación del incremento de temperatura sobre la sección transversal dependerá de la dirección seleccionada.

'L1', 'L2':

- Cargas y momentos puntuales: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde se aplica la carga. 'L2' no se utiliza.
- Cargas trapeziales, en faja, y triangulares: 'L1' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y



la posición donde comienza la carga, 'L2' es la distancia entre el nudo inicial de la barra y la posición donde termina la carga.

Unidades:

- Cargas puntuales: t
- Momentos puntuales: t·m.
- Cargas uniformes, en faja, triangulares y trapeciales: t/m.
- Incrementos de temperatura: °C.

Cargas en barras										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N1/N2	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N2/N3	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N3/N4	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N3	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N7/N8	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N8/N6	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N10/N9	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N9/N8	Peso propio	Uniforme	0.036	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N6	Peso propio	Uniforme	0.021	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N4/N6	Peso propio	Puntual	1.635	-	1.750	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N7	Peso propio	Uniforme	0.021	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N5/N7	Peso propio	Puntual	1.635	-	1.750	-	Globales	0.000	0.000	-1.000

Producción por una versión educativa de CYPE

2.3. Resultados

2.3.1. Nudos

2.3.1.1. Desplazamientos

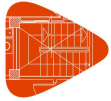
Referencias:

- Dx, Dy, Dz: Desplazamientos de los nudos en ejes globales.
- Gx, Gy, Gz: Giros de los nudos en ejes globales.

2.3.1.1.1. Hipótesis

Desplazamientos de los nudos, por hipótesis							
Referencia	Descripción	Desplazamientos en ejes globales					
		Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Peso propio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Peso propio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N3	Peso propio	0.000	0.001	-0.093	-0.445	0.000	0.000
N4	Peso propio	0.000	0.000	-0.132	-5.014	0.049	-0.003
N5	Peso propio	0.000	0.000	-0.132	-5.014	-0.049	0.003
N6	Peso propio	0.000	0.000	-0.132	5.014	0.049	0.003
N7	Peso propio	0.000	0.000	-0.132	5.014	-0.049	-0.003
N8	Peso propio	0.000	-0.001	-0.093	0.445	0.000	0.000
N9	Peso propio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N10	Peso propio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.3.1.1.2. Combinaciones



Desplazamientos de los nudos, por combinación								
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N3	Desplazamientos	PP	0.000	0.001	-0.093	-0.445	0.000	0.000
N4	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	-0.132	-5.014	0.049	-0.003
N5	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	-0.132	-5.014	-0.049	0.003
N6	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	-0.132	5.014	0.049	0.003
N7	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	-0.132	5.014	-0.049	-0.003
N8	Desplazamientos	PP	0.000	-0.001	-0.093	0.445	0.000	0.000
N9	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N10	Desplazamientos	PP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.3.1.1.3. Envoltentes

Envoltente de los desplazamientos en nudos								
Referencia	Combinación		Desplazamientos en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Dx (mm)	Dy (mm)	Dz (mm)	Gx (mRad)	Gy (mRad)	Gz (mRad)
N1	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N2	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N3	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.001	-0.093	-0.445	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.001	-0.093	-0.445	0.000	0.000
N4	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	-5.014	0.049	-0.003
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	-5.014	0.049	-0.003
N5	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	-5.014	-0.049	0.003
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	-5.014	-0.049	0.003
N6	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	5.014	0.049	0.003
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	5.014	0.049	0.003
N7	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	5.014	-0.049	-0.003
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	-0.132	5.014	-0.049	-0.003
N8	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	-0.001	-0.093	0.445	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	-0.001	-0.093	0.445	0.000	0.000
N9	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N10	Desplazamientos	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE

2.3.1.2. Reacciones

Referencias:

Rx, Ry, Rz: Reacciones en nudos con desplazamientos coaccionados (fuerzas).

Mx, My, Mz: Reacciones en nudos con giros coaccionados (momentos).

2.3.1.2.1. Hipótesis

Reacciones en los nudos, por hipótesis							
Referencia	Descripción	Reacciones en ejes globales					
		Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Peso propio	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
N2	Peso propio	0.000	0.010	2.006	-0.016	0.000	0.000



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Reacciones en los nudos, por hipótesis							
Referencia	Descripción	Reacciones en ejes globales					
		Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N9	Peso propio	0.000	-0.010	2.006	0.016	0.000	0.000
N10	Peso propio	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000

2.3.1.2.2. Combinaciones

Reacciones en los nudos, por combinación								
Referencia	Combinación		Reacciones en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Hormigón en cimentaciones	PP	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
		1.6·PP	0.000	0.000	0.144	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	PP	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
N2	Hormigón en cimentaciones	PP	0.000	0.010	2.006	-0.016	0.000	0.000
		1.6·PP	0.000	0.015	3.210	-0.025	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	PP	0.000	0.010	2.006	-0.016	0.000	0.000
N9	Hormigón en cimentaciones	PP	0.000	-0.010	2.006	0.016	0.000	0.000
		1.6·PP	0.000	-0.015	3.210	0.025	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	PP	0.000	-0.010	2.006	0.016	0.000	0.000
N10	Hormigón en cimentaciones	PP	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
		1.6·PP	0.000	0.000	0.144	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	PP	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000

Nota: Las combinaciones de hormigón indicadas son las mismas que se utilizan para comprobar el estado límite de equilibrio en la cimentación.

2.3.1.2.3. Envolventes

Envolventes de las reacciones en nudos								
Referencia	Combinación		Reacciones en ejes globales					
	Tipo	Descripción	Rx (t)	Ry (t)	Rz (t)	Mx (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)
N1	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.144	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
N2	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.010	2.006	-0.025	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.015	3.210	-0.016	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.010	2.006	-0.016	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.010	2.006	-0.016	0.000	0.000
N9	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	0.000	-0.015	2.006	0.016	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	-0.010	3.210	0.025	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	0.000	-0.010	2.006	0.016	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	-0.010	2.006	0.016	0.000	0.000
N10	Hormigón en cimentaciones	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.144	0.000	0.000	0.000
	Tensiones sobre el terreno	Valor mínimo de la envolvente	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000
		Valor máximo de la envolvente	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000

Nota: Las combinaciones de hormigón indicadas son las mismas que se utilizan para comprobar el estado límite de equilibrio en la cimentación.



2.3.2. Barras

2.3.2.1. Esfuerzos

Referencias:

N: Esfuerzo axil (t)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (t)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (t)

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (t·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (t·m)

2.3.2.1.1. Hipótesis

Esfuerzos en barras, por hipótesis											
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N1/N2	Peso propio	N	-0.090	-0.068	-0.045	-0.023	0.000	0.023	0.045	0.068	0.090
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Esfuerzos en barras, por hipótesis											
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N2/N3	Peso propio	N	-1.916	-1.893	-1.871	-1.848	-1.826	-1.803	-1.781	-1.758	-1.736
		Vy	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	-0.016	-0.010	-0.004	0.002	0.008	0.014	0.020	0.026	0.032

Esfuerzos en barras, por hipótesis					
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N3/N4	Peso propio	N	0.000	0.000	0.000
		Vy	-0.005	-0.005	-0.005
		Vz	-0.868	-0.861	-0.854
		Mt	-0.016	-0.016	-0.016
		My	-0.323	-0.161	0.000
		Mz	-0.002	-0.001	0.000

Esfuerzos en barras, por hipótesis					
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N5/N3	Peso propio	N	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.005	0.005	0.005
		Vz	0.854	0.861	0.868
		Mt	0.016	0.016	0.016
		My	0.000	-0.161	-0.323
		Mz	0.000	-0.001	-0.002

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Esfuerzos en barras, por hipótesis					
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N7/N8	Peso propio	N	0.000	0.000	0.000
		Vy	-0.005	-0.005	-0.005
		Vz	0.854	0.861	0.868
		Mt	-0.016	-0.016	-0.016
		My	0.000	-0.161	-0.323
		Mz	0.000	0.001	0.002

Esfuerzos en barras, por hipótesis					
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N8/N6	Peso propio	N	0.000	0.000	0.000
		Vy	0.005	0.005	0.005
		Vz	-0.868	-0.861	-0.854
		Mt	0.016	0.016	0.016
		My	-0.323	-0.161	0.000
		Mz	0.002	0.001	0.000

Esfuerzos en barras, por hipótesis											
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N10/N9	Peso propio	N	-0.090	-0.068	-0.045	-0.023	0.000	0.023	0.045	0.068	0.090
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Esfuerzos en barras, por hipótesis											
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N9/N8	Peso propio	N	-1.916	-1.893	-1.871	-1.848	-1.826	-1.803	-1.781	-1.758	-1.736
		Vy	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz	0.016	0.010	0.004	-0.002	-0.008	-0.014	-0.020	-0.026	-0.032

Esfuerzos en barras, por hipótesis											
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
N4/N6	Peso propio	N	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	-0.854	-0.846	-0.838	-0.825	-0.817	0.825	0.838	0.846	0.854
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	-0.016	0.315	0.642	1.127	1.447	1.127	0.642	0.315	-0.016
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Esfuerzos en barras, por hipótesis												
Barra	Hipótesis	Esfuerzo	Posiciones en la barra									
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m	
N5/N7	Peso propio	N	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz	-0.854	-0.846	-0.838	-0.825	-0.817	0.825	0.838	0.846	0.854	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My	-0.016	0.315	0.642	1.127	1.447	1.127	0.642	0.315	-0.016	
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.3.2.1.2. Combinaciones

Esfuerzos en barras, por combinación												
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra								
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N1/N2	Acero laminado	0.8·PP	N	-0.072	-0.054	-0.036	-0.018	0.000	0.018	0.036	0.054	0.072
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1.35·PP	N	-0.122	-0.091	-0.061	-0.030	0.000	0.030	0.061	0.091	0.122	
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Esfuerzos en barras, por combinación												
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra								
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N2/N3	Acero laminado	0.8·PP	N	-1.533	-1.515	-1.497	-1.479	-1.461	-1.443	-1.425	-1.407	-1.389
			Vy	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mz	-0.013	-0.008	-0.003	0.002	0.006	0.011	0.016	0.021	0.026
	1.35·PP	N	-2.586	-2.556	-2.526	-2.495	-2.465	-2.434	-2.404	-2.374	-2.343	
		Vy	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mz	-0.021	-0.013	-0.005	0.003	0.011	0.019	0.027	0.035	0.043	

Esfuerzos en barras, por combinación						
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra		
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.188 m	0.375 m
N3/N4	Acero laminado	0.8·PP	N	0.000	0.000	0.000
			Vy	-0.004	-0.004	-0.004
			Vz	-0.694	-0.689	-0.683
			Mt	-0.013	-0.013	-0.013
			My	-0.258	-0.129	0.000
			Mz	-0.001	-0.001	0.000
	1.35·PP	N	0.000	0.000	0.000	
		Vy	-0.006	-0.006	-0.006	
		Vz	-1.172	-1.162	-1.153	
		Mt	-0.022	-0.022	-0.022	
		My	-0.436	-0.217	0.000	
		Mz				

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Esfuerzos en barras, por combinación						
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra		
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.188 m	0.375 m
			Mz	-0.002	-0.001	0.000

Esfuerzos en barras, por combinación						
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra		
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.188 m	0.375 m
N5/N3	Acero laminado	0.8·PP	N	0.000	0.000	0.000
			Vy	0.004	0.004	0.004
			Vz	0.683	0.689	0.694
			Mt	0.013	0.013	0.013
			My	0.000	-0.129	-0.258
			Mz	0.000	-0.001	-0.001
			1.35·PP	N	0.000	0.000
	Vy	0.006	0.006	0.006		
	Vz	1.153	1.162	1.172		
	Mt	0.022	0.022	0.022		
	My	0.000	-0.217	-0.436		
	Mz	0.000	-0.001	-0.002		

Esfuerzos en barras, por combinación						
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra		
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.188 m	0.375 m
N7/N8	Acero laminado	0.8·PP	N	0.000	0.000	0.000
			Vy	-0.004	-0.004	-0.004
			Vz	0.683	0.689	0.694
			Mt	-0.013	-0.013	-0.013
			My	0.000	-0.129	-0.258
			Mz	0.000	0.001	0.001
			1.35·PP	N	0.000	0.000
	Vy	-0.006	-0.006	-0.006		
	Vz	1.153	1.162	1.172		
	Mt	-0.022	-0.022	-0.022		
	My	0.000	-0.217	-0.436		
	Mz	0.000	0.001	0.002		

Esfuerzos en barras, por combinación						
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra		
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.188 m	0.375 m
N8/N6	Acero laminado	0.8·PP	N	0.000	0.000	0.000
			Vy	0.004	0.004	0.004
			Vz	-0.694	-0.689	-0.683
			Mt	0.013	0.013	0.013
			My	-0.258	-0.129	0.000
			Mz	0.001	0.001	0.000
	1.35·PP	N	0.000	0.000	0.000	
	Vy	0.006	0.006	0.006		

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Esfuerzos en barras, por combinación						
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra		
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.188 m	0.375 m
			Vz	-1.172	-1.162	-1.153
			Mt	0.022	0.022	0.022
			My	-0.436	-0.217	0.000
			Mz	0.002	0.001	0.000

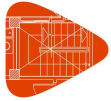
Esfuerzos en barras, por combinación												
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra								
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N10/N9	Acero laminado	0.8-PP	N	-0.072	-0.054	-0.036	-0.018	0.000	0.018	0.036	0.054	0.072
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1.35-PP	N	-0.122	-0.091	-0.061	-0.030	0.000	0.030	0.061	0.091	0.122	
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Esfuerzos en barras, por combinación												
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra								
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N9/N8	Acero laminado	0.8-PP	N	-1.533	-1.515	-1.497	-1.479	-1.461	-1.443	-1.425	-1.407	-1.389
			Vy	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
			Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Mz	0.013	0.008	0.003	-0.002	-0.006	-0.011	-0.016	-0.021	-0.026
	1.35-PP	N	-2.586	-2.556	-2.526	-2.495	-2.465	-2.434	-2.404	-2.374	-2.343	
		Vy	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	
		Vz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		My	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Mz	0.021	0.013	0.005	-0.003	-0.011	-0.019	-0.027	-0.035	-0.043	

Esfuerzos en barras, por combinación												
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra								
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
N4/N6	Acero laminado	0.8-PP	N	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	-0.683	-0.677	-0.670	-0.660	-0.654	0.660	0.670	0.677	0.683
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	-0.013	0.252	0.514	0.902	1.157	0.902	0.514	0.252	-0.013
			Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	1.35-PP	N	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	
		Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		Vz	-1.153	-1.142	-1.131	-1.114	-1.103	1.114	1.131	1.142	1.153	
		Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
		My	-0.022	0.425	0.867	1.522	1.953	1.522	0.867	0.425	-0.022	
		Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Esfuerzos en barras, por combinación											
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra							
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m
N5/N7	Acero laminado	0.8-PP	N	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Esfuerzos en barras, por combinación												
Barra	Combinación		Esfuerzo	Posiciones en la barra								
	Tipo	Descripción		0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
			Vz	-0.683	-0.677	-0.670	-0.660	-0.654	0.660	0.670	0.677	0.683
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	-0.013	0.252	0.514	0.902	1.157	0.902	0.514	0.252	-0.013
			Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		1.35·PP	N	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006
			Vy	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			Vz	-1.153	-1.142	-1.131	-1.114	-1.103	1.114	1.131	1.142	1.153
			Mt	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			My	-0.022	0.425	0.867	1.522	1.953	1.522	0.867	0.425	-0.022
			Mz	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

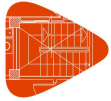
2.3.2.1.3. Envoltentes

Envoltentes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N1/N2	Acero laminado	N _{min}	-0.122	-0.091	-0.061	-0.030	0.000	0.018	0.036	0.054	0.072
		N _{máx}	-0.072	-0.054	-0.036	-0.018	0.000	0.030	0.061	0.091	0.122
		Vy _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envoltentes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N2/N3	Acero laminado	N _{min}	-2.586	-2.556	-2.526	-2.495	-2.465	-2.434	-2.404	-2.374	-2.343
		N _{máx}	-1.533	-1.515	-1.497	-1.479	-1.461	-1.443	-1.425	-1.407	-1.389
		Vy _{min}	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013	-0.013
		Vy _{máx}	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008	-0.008
		Vz _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{min}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{min}	-0.021	-0.013	-0.005	0.002	0.006	0.011	0.016	0.021	0.026
		Mz _{máx}	-0.013	-0.008	-0.003	0.003	0.011	0.019	0.027	0.035	0.043

Envoltentes de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N3/N4	Acero laminado	N _{min}	0.000	0.000	0.000
		N _{máx}	0.000	0.000	0.000
		Vy _{min}	-0.006	-0.006	-0.006
		Vy _{máx}	-0.004	-0.004	-0.004
		Vz _{min}	-1.172	-1.162	-1.153
		Vz _{máx}	-0.694	-0.689	-0.683
		Mt _{min}	-0.022	-0.022	-0.022
		Mt _{máx}	-0.013	-0.013	-0.013
		My _{min}	-0.436	-0.217	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Envolturas de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
		$M_{y_{máx}}$	-0.258	-0.129	0.000
		$M_{z_{mín}}$	-0.002	-0.001	0.000
		$M_{z_{máx}}$	-0.001	-0.001	0.000

Envolturas de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N5/N3	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$V_{y_{mín}}$	0.004	0.004	0.004
		$V_{y_{máx}}$	0.006	0.006	0.006
		$V_{z_{mín}}$	0.683	0.689	0.694
		$V_{z_{máx}}$	1.153	1.162	1.172
		$M_{t_{mín}}$	0.013	0.013	0.013
		$M_{t_{máx}}$	0.022	0.022	0.022
		$M_{y_{mín}}$	0.000	-0.217	-0.436
		$M_{y_{máx}}$	0.000	-0.129	-0.258
		$M_{z_{mín}}$	0.000	-0.001	-0.002
		$M_{z_{máx}}$	0.000	-0.001	-0.001

Envolturas de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N7/N8	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$V_{y_{mín}}$	-0.006	-0.006	-0.006
		$V_{y_{máx}}$	-0.004	-0.004	-0.004
		$V_{z_{mín}}$	0.683	0.689	0.694
		$V_{z_{máx}}$	1.153	1.162	1.172
		$M_{t_{mín}}$	-0.022	-0.022	-0.022
		$M_{t_{máx}}$	-0.013	-0.013	-0.013
		$M_{y_{mín}}$	0.000	-0.217	-0.436
		$M_{y_{máx}}$	0.000	-0.129	-0.258
		$M_{z_{mín}}$	0.000	0.001	0.001
		$M_{z_{máx}}$	0.000	0.001	0.002

Envolturas de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
N8/N6	Acero laminado	$N_{mín}$	0.000	0.000	0.000
		$N_{máx}$	0.000	0.000	0.000
		$V_{y_{mín}}$	0.004	0.004	0.004
		$V_{y_{máx}}$	0.006	0.006	0.006
		$V_{z_{mín}}$	-1.172	-1.162	-1.153
		$V_{z_{máx}}$	-0.694	-0.689	-0.683

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Envoltentes de los esfuerzos en barras					
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra		
			0.000 m	0.188 m	0.375 m
		Mt _{mín}	0.013	0.013	0.013
		Mt _{máx}	0.022	0.022	0.022
		My _{mín}	-0.436	-0.217	0.000
		My _{máx}	-0.258	-0.129	0.000
		Mz _{mín}	0.001	0.001	0.000
		Mz _{máx}	0.002	0.001	0.000

Envoltentes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N10/N9	Acero laminado	N _{mín}	-0.122	-0.091	-0.061	-0.030	0.000	0.018	0.036	0.054	0.072
		N _{máx}	-0.072	-0.054	-0.036	-0.018	0.000	0.030	0.061	0.091	0.122
		Vy _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Envoltentes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.625 m	1.250 m	1.875 m	2.500 m	3.125 m	3.750 m	4.375 m	5.000 m
N9/N8	Acero laminado	N _{mín}	-2.586	-2.556	-2.526	-2.495	-2.465	-2.434	-2.404	-2.374	-2.343
		N _{máx}	-1.533	-1.515	-1.497	-1.479	-1.461	-1.443	-1.425	-1.407	-1.389
		Vy _{mín}	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
		Vy _{máx}	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
		Vz _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{mín}	0.013	0.008	0.003	-0.003	-0.011	-0.019	-0.027	-0.035	-0.043
		Mz _{máx}	0.021	0.013	0.005	-0.002	-0.006	-0.011	-0.016	-0.021	-0.026

Envoltentes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
N4/N6	Acero laminado	N _{mín}	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006
		N _{máx}	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
		Vy _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{mín}	-1.153	-1.142	-1.131	-1.114	-1.103	0.660	0.670	0.677	0.683
		Vz _{máx}	-0.683	-0.677	-0.670	-0.660	-0.654	1.114	1.131	1.142	1.153
		Mt _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{mín}	-0.022	0.252	0.514	0.902	1.157	0.902	0.514	0.252	-0.022
		My _{máx}	-0.013	0.425	0.867	1.522	1.953	1.522	0.867	0.425	-0.013
		Mz _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Producido por una versión educativa de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Envolventes de los esfuerzos en barras											
Barra	Tipo de combinación	Esfuerzo	Posiciones en la barra								
			0.000 m	0.389 m	0.778 m	1.361 m	1.750 m	2.139 m	2.722 m	3.111 m	3.500 m
N5/N7	Acero laminado	N _{mín}	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006	-0.006
		N _{máx}	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
		Vy _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vy _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Vz _{mín}	-1.153	-1.142	-1.131	-1.114	-1.103	0.660	0.670	0.677	0.683
		Vz _{máx}	-0.683	-0.677	-0.670	-0.660	-0.654	1.114	1.131	1.142	1.153
		Mt _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mt _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		My _{mín}	-0.022	0.252	0.514	0.902	1.157	0.902	0.514	0.252	-0.022
		My _{máx}	-0.013	0.425	0.867	1.522	1.953	1.522	0.867	0.425	-0.013
		Mz _{mín}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Mz _{máx}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.3.2.2. Resistencia

Referencias:

N: Esfuerzo axil (t)

Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (t)

Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (t)

Mt: Momento torsor (t·m)

My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (t·m)

Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (t·m)

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

Origen de los esfuerzos pésimos:

- G: Sólo gravitatorias
- GV: Gravitatorias + viento
- GS: Gravitatorias + sismo
- GVS: Gravitatorias + viento + sismo

η : Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (t)	Vy (t)	Vz (t)	Mt (t·m)	My (t·m)	Mz (t·m)		
N1/N2	0.43	0.000	-0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	G	Cumple
N2/N3	6.42	5.000	-2.343	-0.013	0.000	0.000	0.000	0.043	G	Cumple
N3/N4	8.96	0.000	0.000	-0.006	-1.172	-0.022	-0.436	-0.002	G	Cumple
N5/N3	8.96	0.000	0.000	0.006	1.153	0.022	0.000	0.000	G	Cumple
N7/N8	8.96	0.000	0.000	-0.006	1.153	-0.022	0.000	0.000	G	Cumple
N8/N6	8.96	0.000	0.000	0.006	-1.172	0.022	-0.436	0.002	G	Cumple
N10/N9	0.43	0.000	-0.122	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	G	Cumple
N9/N8	6.42	5.000	-2.343	0.013	0.000	0.000	0.000	-0.043	G	Cumple
N4/N6	45.81	1.750	-0.006	0.000	-1.103	0.000	1.953	0.000	G	Cumple
N5/N7	45.81	1.750	-0.006	0.000	-1.103	0.000	1.953	0.000	G	Cumple

2.3.2.3. Flechas

Referencias:

Pos.: Valor de la coordenada sobre el eje 'X' local del grupo de flecha en el punto donde se produce



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

el valor pésimo de la flecha.

L.: Distancia entre dos puntos de corte consecutivos de la deformada con la recta que une los nudos extremos del grupo de flecha.

Grupo	Flechas							
	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N1/N3	8.438	0.33	6.250	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
	8.438	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N3/N4	0.188	0.00	0.188	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
	0.188	L/(>1000)	0.188	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N5/N3	0.188	0.00	0.188	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
	0.188	L/(>1000)	0.188	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N7/N8	0.188	0.00	0.188	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
	0.188	L/(>1000)	0.188	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N8/N6	0.188	0.00	0.188	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
	0.188	L/(>1000)	0.188	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N10/N8	8.438	0.33	6.250	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00
	8.438	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N4/N6	1.750	0.00	1.750	5.98	0.000	0.00	0.000	0.00
	1.750	L/(>1000)	1.750	L/585.8	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)
N5/N7	1.750	0.00	1.750	5.98	0.000	0.00	0.000	0.00
	1.750	L/(>1000)	1.750	L/585.8	-	L/(>1000)	-	L/(>1000)

Barras Reductiva de CYPE

2.3.2.4. Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N1/N2

Perfil: IPE 270							
Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
		N1	N2	5.000	45.90	5790.00	420.00
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
				Pandeo		Pandeo lateral	
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
	β			1.00	1.00	0.00	0.00
	L _K			5.000	5.000	0.000	0.000
	C _m			1.000	1.000	1.000	1.000
	C ₁			-		1.000	
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _K : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: **1.90** ✓



Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_w: Constante de alabeo de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

G: Módulo de elasticidad transversal.

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

i₀: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

Clase : 2

A : 45.90 cm²

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr} : 35.494 t

N_{cr,y} : 489.315 t

N_{cr,z} : 35.494 t

N_{cr,T} : ∞

I_y : 5790.00 cm⁴

I_z : 420.00 cm⁴

I_t : 15.90 cm⁴

I_w : 70600.00 cm⁶

E : 2140673 kp/cm²

G : 825688 kp/cm²

L_{ky} : 5.000 m

L_{kz} : 5.000 m

L_{kt} : 0.000 m

i₀ : 11.63 cm

i_y : 11.23 cm

i_z : 3.02 cm

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{0.122} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{122.543} \text{ t}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N1, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.122} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{122.543} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$



Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$N_{b,Rd} : \underline{28.003} \text{ t}$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$

 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$

 χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$\chi_y : \underline{0.92}$

$\chi_z : \underline{0.23}$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$\phi_y : \underline{0.66}$

$\phi_z : \underline{2.60}$

 α : Coeficiente de imperfección elástica.

$\alpha_y : \underline{0.21}$

$\alpha_z : \underline{0.34}$

 $\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y : \underline{0.51}$

$\bar{\lambda}_z : \underline{1.90}$

 N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr} : \underline{35.494} \text{ t}$

 $N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y} : \underline{489.315} \text{ t}$

 $N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z} : \underline{35.494} \text{ t}$

 $N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

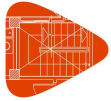
$N_{cr,T} : \underline{\infty}$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

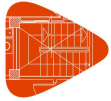
Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Procedido por una revisión de la normativa de CTE



Barra N2/N3

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N2	N3	5.000	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.	
β	0.70		0.70	0.00		0.00	
L _k	3.500		3.500	0.000		0.000	
C _m	1.000		1.000	1.000		1.000	
C ₁	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor $\bar{\lambda}_{lim}$.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{1.33} \quad \checkmark$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 45.90 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 72.437 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 998.602 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 72.437 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 5790.00 cm⁴



I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{420.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{15.90} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{70600.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.500} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.500} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{11.63} \text{ cm}$$

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{11.23} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.02} \text{ cm}$$

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Producción educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.021} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.051} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N2, para la combinación de acciones 1.35·PP.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.586} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{122.543} \text{ t}$$

Donde:



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

Clase : 2

A : 45.90 cm²

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : 1.05

N_{b,Rd} : 50.416 t

A : 45.90 cm²

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1} : 1.05

χ_y : 0.96

χ_z : 0.41

φ_y : 0.58

φ_z : 1.58

α_y : 0.21

α_z : 0.34

λ̄_y : 0.36

λ̄_z : 1.33

N_{cr} : 72.437 t

N_{cr,y} : 998.602 t

N_{cr,z} : 72.437 t

N_{cr,T} : ∞

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.590} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.013} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.013 \text{ t} \leq \underline{22.679} \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.013} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.064} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

Producido por un versión educativa de CYPE	N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>2.343</u> t
	M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed}⁺ : <u>0.000</u> t·m
		M_{z,Ed}⁺ : <u>0.043</u> t·m
	Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>2</u>
	N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>122.543</u> t

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)**A**:  rea de la sección bruta.

A : 45.90 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : 484.00 cm³

W_{pl,z} : 97.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, **k_z**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

k_y : 1.00

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

k_z : 1.07

C_{m,y}, **C_{m,z}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : 0.96

χ_z : 0.41

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : 0.36

λ̄_z : 1.33

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : 0.60

α_z : 0.60

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.013 \text{ t} \leq 22.679 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \frac{0.013}{t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \frac{45.358}{t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

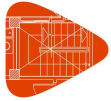
La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



Barra N3/N4

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial: N3 Final: N4	0.375	45.90	5790.00	420.00	15.90	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _k		0.375	0.375	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Bolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

- h_w**: Altura del alma.
- t_w**: Espesor del alma.
- A_w**: Área del alma.
- A_{fc,ef}**: Área reducida del ala comprimida.
- k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
- E**: Módulo de elasticidad.
- f_{yf}**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

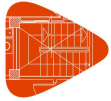
- h_w** : 249.60 mm
- t_w** : 6.60 mm
- A_w** : 16.47 cm²
- A_{fc,ef}** : 13.77 cm²
- k** : 0.30
- E** : 2140673 kp/cm²
- f_{yf}** : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.436} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{12.922} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.590} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{22.09} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{135.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{10.20} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.27 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{33.27}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

 A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

 d : Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.172 \text{ t} \leq \underline{17.027} \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

 $V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.006 \text{ t} \leq 22.679 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

Producido por un versión educativa de CYPE	N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>0.000</u> t
	M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>0.436</u> t·m
		M_{z,Ed} : <u>0.002</u> t·m
	Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
	N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>122.543</u> t

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y} : <u>12.922</u> t·m
M_{pl,Rd,z} : <u>2.590</u> t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)**A**:  rea de la sección bruta.

A : 45.90 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : 484.00 cm³

W_{pl,z} : 97.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, **k_z**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, **C_{m,z}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : 0.04

λ̄_z : 0.14

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : 0.60

α_z : 0.60



Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.172 \text{ t} \leq 16.405 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.172} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.090} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.240} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

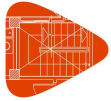
f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

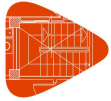
Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

 $M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{43.702} \text{ t}$$

Donde:

 $V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

 W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Barra N5/N3

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial	Final					
N5	N3	0.375	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral	
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _k		0.375	0.375	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-			1.000	
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Procedido por una revisión educativa de CYPE

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Bolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

- h_w**: Altura del alma.
- t_w**: Espesor del alma.
- A_w**: Área del alma.
- A_{fc,ef}**: Área reducida del ala comprimida.
- k**: Coeficiente que depende de la clase de la sección.
- E**: Módulo de elasticidad.
- f_{yf}**: Límite elástico del acero del ala comprimida.

- h_w** : 249.60 mm
- t_w** : 6.60 mm
- A_w** : 16.47 cm²
- A_{fc,ef}** : 13.77 cm²
- k** : 0.30
- E** : 2140673 kp/cm²
- f_{yf}** : 2803.26 kp/cm²

Siendo:
 $f_{yf} = f_y$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.436} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{12.922} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.590} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{22.09} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{135.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{10.20} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.27 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{33.27}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

 A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

 d : Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.162 \text{ t} \leq 17.027 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.188 m del nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.162} \text{ t}$$

 $V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.006 \text{ t} \leq 22.679 \text{ t} \quad \checkmark$$

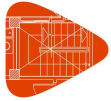
Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

Producido por un versión educativa de CYPE	N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>0.000</u> t
	M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>0.436</u> t·m
		M_{z,Ed} : <u>0.002</u> t·m
	Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
	N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>122.543</u> t

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y} : <u>12.922</u> t·m
M_{pl,Rd,z} : <u>2.590</u> t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)**A**:  rea de la sección bruta.

A : 45.90 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : 484.00 cm³

W_{pl,z} : 97.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, **k_z**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, **C_{m,z}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

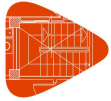
λ̄_y : 0.04

λ̄_z : 0.14

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : 0.60

α_z : 0.60

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.188 m del nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.162 \text{ t} \leq 16.405 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.162} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.090} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.240} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N3, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

 $M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{43.702} \text{ t}$$

Donde:

 $V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

 W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

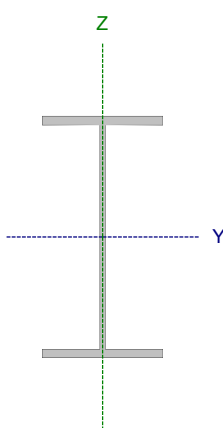
$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Barra N7/N8

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N7	N8	0.375	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
			Pandeo		Pandeo lateral		
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
	β		1.00	1.00	0.00	0.00	
	L _k		0.375	0.375	0.000	0.000	
	C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
	C ₁		-		1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Bolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$37.82 \leq 250.57 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \frac{249.60}{mm}$$

$$t_w : \frac{6.60}{mm}$$

$$A_w : \frac{16.47}{cm^2}$$

$$A_{fc,ef} : \frac{13.77}{cm^2}$$

$$k : \frac{0.30}{}$$

$$E : \frac{2140673}{kp/cm^2}$$

$$f_{yf} : \frac{2803.26}{kp/cm^2}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.436} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{12.922} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.590} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{22.09} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{135.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{10.20} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.27 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{33.27}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

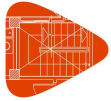
Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

 A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

 d : Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.162 \text{ t} \leq \underline{17.027} \text{ t} \quad \checkmark$$

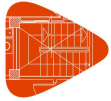
Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.188 m del nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.162} \text{ t}$$

 $V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.006 \text{ t} \leq 22.679 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

Producido por un versión educativa de CYPE	N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>0.000</u> t
	M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>0.436</u> t·m
		M_{z,Ed} : <u>0.002</u> t·m
	Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
	N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>122.543</u> t
M_{pl,Rd,y} , M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>12.922</u> t·m	
	M_{pl,Rd,z} : <u>2.590</u> t·m	

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)**A**:  rea de la sección bruta.

A : 45.90 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : 484.00 cm³

W_{pl,z} : 97.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, **k_z**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, **C_{m,z}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : 0.04

λ̄_z : 0.14

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : 0.60

α_z : 0.60

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.188 m del nudo N7, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.162 \text{ t} \leq 16.405 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.162} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.090} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.240} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

 $M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{43.702} \text{ t}$$

Donde:

 $V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

 W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Barra N8/N6

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)		Características mecánicas			
	Inicial	Final	Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
N8	N6	0.375	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	1.00	1.00	0.00	0.00		
L _k	0.375	0.375	0.000	0.000		
C _m	1.000	1.000	1.000	1.000		
C ₁	-		1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						

Procedido por una revisión educativa de CYPE

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.

Bolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$37.82 \leq 250.57 \quad \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

t_w: Espesor del alma.

A_w: Área del alma.

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

E: Módulo de elasticidad.

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

$$h_w : \frac{249.60}{mm}$$

$$t_w : \frac{6.60}{mm}$$

$$A_w : \frac{16.47}{cm^2}$$

$$A_{fc,ef} : \frac{13.77}{cm^2}$$

$$k : \frac{0.30}{}$$

$$E : \frac{2140673}{kp/cm^2}$$

$$f_{yf} : \frac{2803.26}{kp/cm^2}$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.436} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{12.922} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

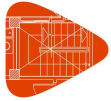
$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.002} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.590} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

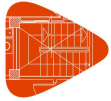
Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{22.09} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

b : Ancho de la sección.

$$b : \underline{135.00} \text{ mm}$$

t_f : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{10.20} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

r : Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.27 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{33.27}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

 A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

 d : Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.172 \text{ t} \leq \underline{17.027} \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

 $V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.006 \text{ t} \leq 22.679 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.035} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.034} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.021} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p^{ésimos} se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

Producido por un servicio educativo de CYPE	N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo p ^{ésimo} .	N_{c,Ed} : <u>0.000</u> t
	M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo p ^{ésimos} , según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed} : <u>0.436</u> t·m
		M_{z,Ed} : <u>0.002</u> t·m
	Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>1</u>
	N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>122.543</u> t

M_{pl,Rd,y}, **M_{pl,Rd,z}**: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

M_{pl,Rd,y} : <u>12.922</u> t·m
M_{pl,Rd,z} : <u>2.590</u> t·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)**A**: Área de la sección bruta.

A : 45.90 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : 484.00 cm³

W_{pl,z} : 97.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, **k_z**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.00}$$

C_{m,y}, **C_{m,z}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : 1.00

χ_z : 1.00

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : 0.04

λ̄_z : 0.14

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : 0.60

α_z : 0.60

**Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.172 \text{ t} \leq 16.405 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.172} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.090} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo $M_{T,Rd}$ viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{0.240} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Producido por una versión educativa de CYPE

**Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.172} \text{ t}$$

$M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{32.811} \text{ t}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{34.054} \text{ t}$$

$\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

W_t : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

 $M_{T,Ed}$: Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.022} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido $V_{pl,T,Rd}$ viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{43.702} \text{ t}$$

Donde:

 $V_{pl,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

 $\tau_{T,Ed}$: Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{138.14} \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

 W_T : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{15.59} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

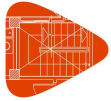
Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$



Barra N10/N9

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N10	N9	5.000	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: ⁽¹⁾ Inercia respecto al eje indicado ⁽²⁾ Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.	
β	1.00		1.00	0.00		0.00	
L _k	5.000		5.000	0.000		0.000	
C _m	1.000		1.000	1.000		1.000	
C ₁	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor $\bar{\lambda}_{lim}$.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{1.90} \quad \checkmark$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 45.90 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 35.494 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 489.315 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 35.494 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

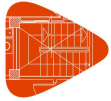
$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 5790.00 cm⁴

Producido por una versión de software de CYPE



I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 420.00 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 15.90 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 70600.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 5.000 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 5.000 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 11.63 cm

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 11.23 cm

i_z : 3.02 cm

y₀ , **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y₀ : 0.00 mm

z₀ : 0.00 mm

Proyecto 5 - Ingeniería educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : 0.001 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP.

N_{t,Ed}: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

N_{t,Ed} : 0.122 t

La resistencia de cálculo a tracción **N_{t,Rd}** viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

N_{t,Rd} : 122.543 t

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 45.90 cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M0} : 1.05

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N10, para la combinación de acciones 1.35·PP.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.122} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{122.543} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{28.003} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.92}$$

$$\chi_z : \underline{0.23}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.66}$$

$$\phi_z : \underline{2.60}$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

$$\alpha_z : \underline{0.34}$$

λ̄: Esbeltez reducida.



$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.51}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.90}$$

$$N_{cr} : \underline{35.494} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{489.315} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{35.494} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.



Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

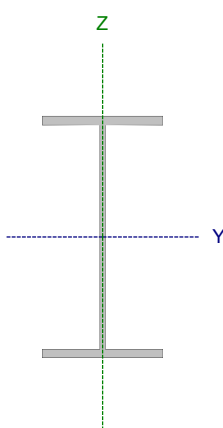
No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



Barra N9/N8

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)
	N9	N8	5.000	45.90	5790.00	420.00	15.90
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo			Pandeo lateral			
	Plano XY		Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.	
β	0.70		0.70	0.00		0.00	
L _k	3.500		3.500	0.000		0.000	
C _m	1.000		1.000	1.000		1.000	
C ₁	-			1.000			
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico							

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor $\bar{\lambda}_{lim}$.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{1.33} \quad \checkmark$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 45.90 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 72.437 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 998.602 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 72.437 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 5790.00 cm⁴



I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{420.00} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{15.90} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{70600.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.500} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.500} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{11.63} \text{ cm}$$

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, **i_z**: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{11.23} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.02} \text{ cm}$$

y₀, **z₀**: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Producción educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.021} \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.051} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N9, para la combinación de acciones 1.35·PP.

N_{c,Ed}: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{2.586} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión **N_{c,Rd}** viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{122.543} \text{ t}$$

Donde:



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N_{b,Rd}** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

α: Coeficiente de imperfección elástica.

λ̄: Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

N_{cr,y}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,z}: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,T}: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

Clase : 2

A : 45.90 cm²

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M0} : 1.05

N_{b,Rd} : 50.416 t

A : 45.90 cm²

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1} : 1.05

χ_y : 0.96

χ_z : 0.41

φ_y : 0.58

φ_z : 1.58

α_y : 0.21

α_z : 0.34

λ̄_y : 0.36

λ̄_z : 1.33

N_{cr} : 72.437 t

N_{cr,y} : 998.602 t

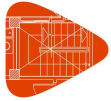
N_{cr,z} : 72.437 t

N_{cr,T} : ∞

Producido por una versión educativa de CYPE

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.017} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.043} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.590} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

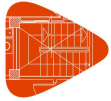
$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.013} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A : Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

d : Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.013 \text{ t} \leq \underline{22.679} \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.013} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{45.358} \text{ t}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.036} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \eta : \underline{0.064} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N8, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

Producido por un versión educativa de CYPE	N_{c,Ed} : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	N_{c,Ed} : <u>2.343</u> t
	M_{y,Ed} , M_{z,Ed} : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{y,Ed}⁺ : <u>0.000</u> t·m
		M_{z,Ed}⁻ : <u>0.043</u> t·m
	Clase : Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	Clase : <u>2</u>
	N_{pl,Rd} : Resistencia a compresión de la sección bruta.	N_{pl,Rd} : <u>122.543</u> t
M_{pl,Rd,y} , M_{pl,Rd,z} : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	M_{pl,Rd,y} : <u>12.922</u> t·m	
	M_{pl,Rd,z} : <u>2.590</u> t·m	

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)**A**:  rea de la sección bruta.

A : 45.90 cm²

W_{pl,y}, **W_{pl,z}**: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

W_{pl,y} : 484.00 cm³

W_{pl,z} : 97.00 cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.

f_{yd} : 2669.77 kp/cm²

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.

γ_{M1} : 1.05

k_y, **k_z**: Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}} \quad k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0.6) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}} \quad k_z : \underline{1.07}$$

C_{m,y}, **C_{m,z}**: Factores de momento flector uniforme equivalente.

C_{m,y} : 1.00

C_{m,z} : 1.00

χ_y, **χ_z**: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : 0.96

χ_z : 0.41

λ̄_y, **λ̄_z**: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

λ̄_y : 0.36

λ̄_z : 1.33

α_y, **α_z**: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : 0.60

α_z : 0.60



Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$0.013 \text{ t} \leq 22.679 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \frac{0.013}{t}$$

$V_{c,Rd,y}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \frac{45.358}{t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



Barra N4/N6

Perfil: 180x100x5
Material: Acero (S275)

	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas				
	Inicial	Final		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
	N4	N6	3.500	27.00	1175.25	467.25	1025.36	
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme								
				Pandeo		Pandeo lateral		
				Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
				β	1.00	1.00	0.00	0.00
				L _k	3.500	3.500	0.000	0.000
				C _m	1.000	1.000	1.000	1.000
				C ₁	-		1.000	
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico								

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor $\bar{\lambda}_0$.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{0.97} \quad \checkmark$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 27.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 80.587 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 202.696 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 80.587 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 1175.25 cm⁴

Producido por una versión de software de CYPE



Listados

Proyecto5

Fecha: 24/07/24

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{467.25} \text{ cm}^4$$

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{1025.36} \text{ cm}^4$$

I_w: Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{0.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{825688} \text{ kp/cm}^2$$

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{3.500} \text{ m}$$

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{3.500} \text{ m}$$

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_o : \underline{7.80} \text{ cm}$$

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y, i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{6.60} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{4.16} \text{ cm}$$

y₀, z₀: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_o : \underline{0.00} \text{ mm}$$

Procedido por la Comisión educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

$$34.00 \leq 422.42 \checkmark$$

Donde:

h_w: Altura del alma.

$$h_w : \underline{170.00} \text{ mm}$$

t_w: Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.00} \text{ mm}$$

A_w: Área del alma.

$$A_w : \underline{17.00} \text{ cm}^2$$

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

$$A_{fc,ef} : \underline{5.00} \text{ cm}^2$$

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$k : \underline{0.30}$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{2140673} \text{ kp/cm}^2$$

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$f_{yf} : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 $N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{72.084} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{27.00} \text{ cm}^2$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{40.226} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{27.00} \text{ cm}^2$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

 χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.78}$$

$$\chi_z : \underline{0.56}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.79}$$

$$\phi_z : \underline{1.16}$$

 α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

 $\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.



$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.61}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.97}$$

$$N_{cr} : \underline{80.587} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{202.696} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{80.587} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.750 m del nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.953} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{4.265} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{159.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

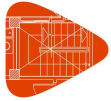
$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.823} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{105.75} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

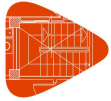
Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.044} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.153} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{26.204} \text{ t}$$

Donde:

A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{17.00} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

d : Altura del alma.

$$d : \underline{170.00} \text{ mm}$$

t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.00} \text{ mm}$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$34.00 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{34.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.153 \text{ t} \leq 13.102 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.153} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{26.204} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.275} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.750 m del nudo N4, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{1.953} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{72.084} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{4.265} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{2.823} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{27.00} \text{ cm}^2$$



$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{159.75} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{105.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.78}$$

$$\chi_z : \underline{0.56}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.61}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.97}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Num
re
de
ins
crip
ción
de
la
Un
iversión educativa de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.153 \text{ t} \leq 13.102 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.153} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{26.204} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



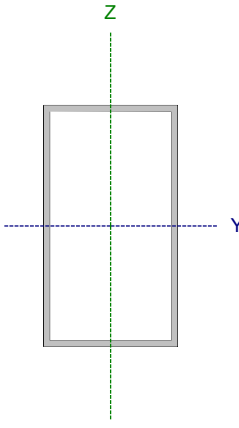
Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



Barra N5/N7

Perfil: 180x100x5 Material: Acero (S275)						
Nudos	Longitud (m)	Características mecánicas				
		Área (cm ²)	I _y ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _z ⁽¹⁾ (cm ⁴)	I _t ⁽²⁾ (cm ⁴)	
Inicial: N5	Final: N7	3.500	27.00	1175.25	467.25	1025.36
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
			Pandeo		Pandeo lateral	
			Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β		1.00	1.00	0.00	0.00	
L _k		3.500	3.500	0.000	0.000	
C _m		1.000	1.000	1.000	1.000	
C ₁		-			1.000	
Notación: β: Coeficiente de pandeo L _k : Longitud de pandeo (m) C _m : Coeficiente de momentos C ₁ : Factor de modificación para el momento crítico						



Producido por una versión de software de CYPE

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor $\bar{\lambda}_0$.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}$: 0.97 ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 27.00 cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f_y : 2803.26 kp/cm²

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico.

N_{cr} : 80.587 t

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

N_{cr,y} : 202.696 t

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

N_{cr,z} : 80.587 t

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

N_{cr,T} : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

I_y : 1175.25 cm⁴



Listados

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

I_z : 467.25 cm⁴

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme.

I_t : 1025.36 cm⁴

I_w: Constante de alabeo de la sección.

I_w : 0.00 cm⁶

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 825688 kp/cm²

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

L_{ky} : 3.500 m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

L_{kz} : 3.500 m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión.

L_{kt} : 0.000 m

i_o: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

i_o : 7.80 cm

$$i_o = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

i_y : 6.60 cm

i_z : 4.16 cm

y_o , z_o: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

y_o : 0.00 mm

z_o : 0.00 mm

Producido por la Comisión educativa de CYPE

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

34.00 ≤ 422.42 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.

h_w : 170.00 mm

t_w: Espesor del alma.

t_w : 5.00 mm

A_w: Área del alma.

A_w : 17.00 cm²

A_{fc,ef}: Área reducida del ala comprimida.

A_{fc,ef} : 5.00 cm²

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 2140673 kp/cm²

f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.

f_{yf} : 2803.26 kp/cm²

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 $N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

La resistencia de cálculo a compresión $N_{c,Rd}$ viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{72.084} \text{ t}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{27.00} \text{ cm}^2$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{40.226} \text{ t}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{27.00} \text{ cm}^2$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

 χ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$\chi_y : \underline{0.78}$$

$$\chi_z : \underline{0.56}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$\phi_y : \underline{0.79}$$

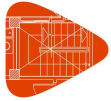
$$\phi_z : \underline{1.16}$$

 α : Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.49}$$

$$\alpha_z : \underline{0.49}$$

 $\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.



$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

N_{cr} : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.61}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.97}$$

$$N_{cr} : \underline{80.587} \text{ t}$$

$$N_{cr,y} : \underline{202.696} \text{ t}$$

$$N_{cr,z} : \underline{80.587} \text{ t}$$

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.750 m del nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP.

M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.953} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{4.265} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{159.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

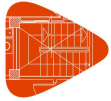
$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

 M_{Ed}^+ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP.

 M_{Ed}^- : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{2.823} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

 $W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{105.75} \text{ cm}^3$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.044} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP.

 V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.153} \text{ t}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{26.204} \text{ t}$$

Donde:

 A_v : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{17.00} \text{ cm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Siendo:

 d : Altura del alma.

$$d : \underline{170.00} \text{ mm}$$

 t_w : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{5.00} \text{ mm}$$

 f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

 γ_{M0} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$34.00 < \underline{64.71} \quad \checkmark$$

Donde:

 λ_w : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{34.00}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

 $\lambda_{m\acute{a}x}$: Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

 ε : Factor de reducción.

$$\varepsilon : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

 f_{ref} : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{2395.51} \text{ kp/cm}^2$$

 f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.153 \text{ t} \leq 13.102 \text{ t} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

V_{Ed} : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.153} \text{ t}$$

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{26.204} \text{ t}$$

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.458} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.275} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 1.750 m del nudo N5, para la combinación de acciones 1.35·PP.

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{0.006} \text{ t}$$

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{1.953} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^- : \underline{0.000} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{72.084} \text{ t}$$

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{4.265} \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{2.823} \text{ t}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{27.00} \text{ cm}^2$$



$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$W_{pl,y} : \underline{159.75} \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : \underline{105.75} \text{ cm}^3$$

f_{yd} : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{2669.77} \text{ kp/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

f_y : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{2803.26} \text{ kp/cm}^2$$

γ_{M1} : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

k_y , k_z : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_y : \underline{1.00}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z : \underline{1.00}$$

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : \underline{1.00}$$

$$C_{m,z} : \underline{1.00}$$

χ_y , χ_z : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : \underline{0.78}$$

$$\chi_z : \underline{0.56}$$

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.61}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{0.97}$$

α_y , α_z : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : \underline{0.60}$$

$$\alpha_z : \underline{0.60}$$

Conversión educativa de CYPE

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.153 \text{ t} \leq 13.102 \text{ t} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.153} \text{ t}$$

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{26.204} \text{ t}$$

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.



2.3.2.5. Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	λ_{sw}	N_x	N_y	M_y	M_z	V_z	V_y	$M_y V_z$	$M_z V_y$	$NM_y M_z$	$NM_z V_y V_z$	M_t	$M_y V_z$		$M_z V_y$
N1/N2	x: 0 m $\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 0.4$
N2/N3	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	x: 0 m $\eta = 5.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 5 m $\eta = 1.7$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	x: 5 m $\eta = 6.4$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 6.4$
N3/N4	N.P. ⁽¹⁰⁾	x: 0 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹¹⁾	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.4$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.5$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta = 9.0$	x: 0 m $\eta = 3.6$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 9.0$
N5/N3	N.P. ⁽¹⁰⁾	x: 0.188 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹¹⁾	x: 0.375 m $\eta = 3.4$	x: 0.375 m $\eta = 0.1$	x: 0.375 m $\eta = 3.4$	$\eta < 0.1$	x: 0.188 m $\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.375 m $\eta = 3.5$	x: 0.188 m $\eta < 0.1$	$\eta = 9.0$	x: 0.375 m $\eta = 3.6$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 9.0$
N7/N8	N.P. ⁽¹⁰⁾	x: 0.188 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹¹⁾	x: 0.375 m $\eta = 3.4$	x: 0.375 m $\eta = 0.1$	x: 0.375 m $\eta = 3.4$	$\eta < 0.1$	x: 0.188 m $\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0.375 m $\eta = 3.5$	x: 0.188 m $\eta < 0.1$	$\eta = 9.0$	x: 0.375 m $\eta = 3.6$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 9.0$
N8/N6	N.P. ⁽¹⁰⁾	x: 0 m $\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽¹¹⁾	x: 0 m $\eta = 3.4$	x: 0 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.4$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 3.5$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$\eta = 9.0$	x: 0 m $\eta = 3.6$	$\eta < 0.1$	CUMPLE $\eta = 9.0$
N10/N9	x: 0 m $\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	N.P. ⁽¹⁾	x: 5 m $\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta = 0.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁴⁾	N.P. ⁽⁵⁾	N.P. ⁽⁶⁾	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 0.4$
N9/N8	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	N.P. ⁽¹⁾	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	x: 0 m $\eta = 5.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽²⁾	x: 5 m $\eta = 1.7$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	$\eta < 0.1$	x: 5 m $\eta = 6.4$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 6.4$
N4/N6	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	$\eta < 0.1$	x: 1.75 m $\eta = 45.8$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 4.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 1.75 m $\eta = 45.8$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 45.8$
N5/N7	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{sw} \leq \lambda_{sw,max}$ Cumple	$N_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁹⁾	$\eta < 0.1$	x: 1.75 m $\eta = 45.8$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 4.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽³⁾	$\eta < 0.1$	N.P. ⁽⁴⁾	x: 1.75 m $\eta = 45.8$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. ⁽⁷⁾	N.P. ⁽⁸⁾	N.P. ⁽⁸⁾	CUMPLE $\eta = 45.8$

Notación:
 $\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
 λ_{sw} : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
 N_x : Resistencia a tracción
 N_y : Resistencia a compresión
 M_y : Resistencia a flexión eje Y
 M_z : Resistencia a flexión eje Z
 V_z : Resistencia a corte Z
 V_y : Resistencia a corte Y
 $M_y V_z$: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
 $M_z V_y$: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
 $NM_y M_z$: Resistencia a flexión y axil combinados
 $NM_z V_y V_z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
 M_t : Resistencia a torsión
 $M_y V_z$: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
 $M_z V_y$: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
 x : Distancia al origen de la barra
 η : Coeficiente de aprovechamiento (%)
 $N.P.$: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
⁽¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector que comprima un ala, de forma que se pueda desarrollar el fenómeno de abolladura del alma inducida por el ala comprimida.
⁽²⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
⁽³⁾ La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
⁽⁴⁾ No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁵⁾ No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁶⁾ No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁷⁾ La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
⁽⁸⁾ No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
⁽⁹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
⁽¹⁰⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.
⁽¹¹⁾ La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Producido por una versión educativa de CYPE

2.3 Conclusión

El análisis estructural del marco de la compuerta hidráulica, realizado mediante los software CYPE y SolidWorks, ha proporcionado resultados precisos y confiables que garantizan la seguridad y eficiencia del diseño. A través de CYPE, se han evaluado las cargas y esfuerzos a los que estará sometida la estructura, asegurando el cumplimiento de las normativas vigentes y verificando la resistencia de los materiales utilizados. Complementariamente, el uso de SolidWorks ha permitido una simulación detallada del comportamiento estructural, destacando las deflexiones mínimas observadas: 3,3 mm en las vigas y 0,65 mm en los pilares, valores similares obtenidos en el Cype. Estos valores indican una excelente rigidez y estabilidad de la estructura, confirmando que el diseño es capaz de soportar las cargas operativas sin comprometer la integridad ni la funcionalidad del sistema.

En resumen, los cálculos y simulaciones realizados con CYPE y SolidWorks confirman que el diseño del marco de la compuerta hidráulica es robusto, seguro y eficiente, proporcionando una solución óptima para su aplicación en el control de flujo de agua en canales.

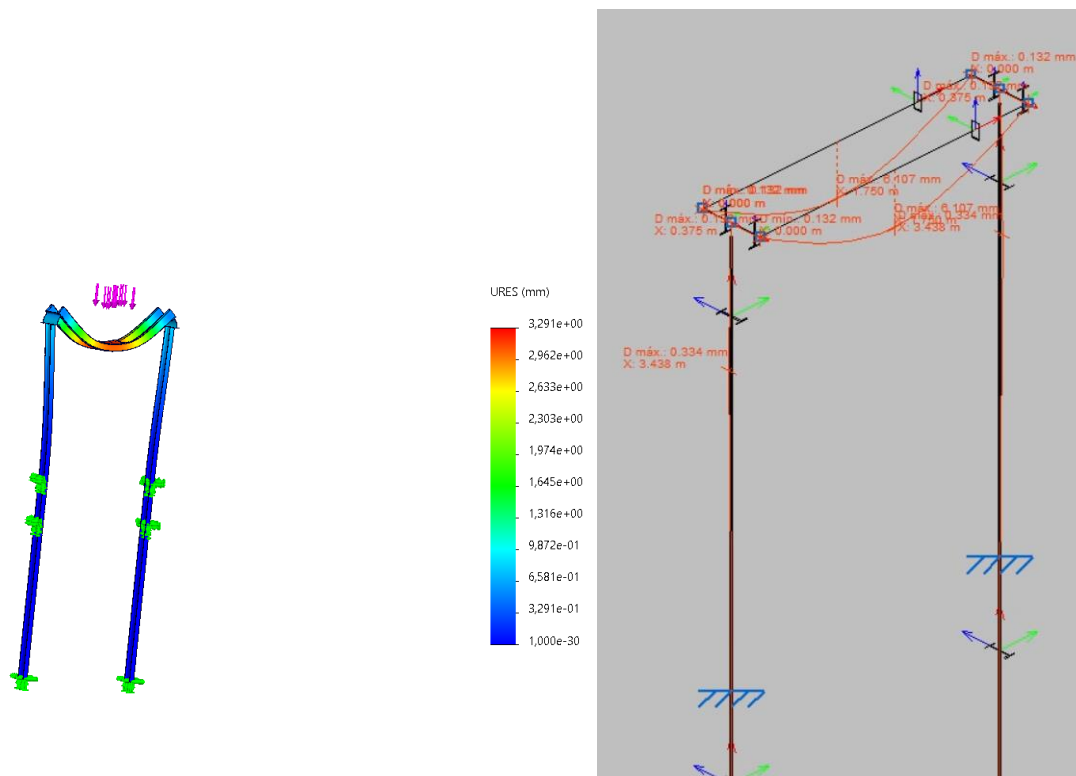


Figura 15. Las deformaciones en el marco de la estructura definidos en diferentes programas de cálculo. ORIGEN: SolidWorks. Cype.

Anejo III: Cálculo de la Unión Tablero- Husillo.

1.Introducción

El presente anejo detalla el cálculo estructural del bulón que une el tablero de la compuerta con el husillo. Este componente es crucial para la transferencia de fuerza y el correcto funcionamiento del sistema de elevación de la compuerta. Se han realizado simulaciones utilizando el software SolidWorks para evaluar las deformaciones y las tensiones equivalentes de Von Mises, asegurando que el diseño cumple con los requisitos de resistencia y durabilidad.

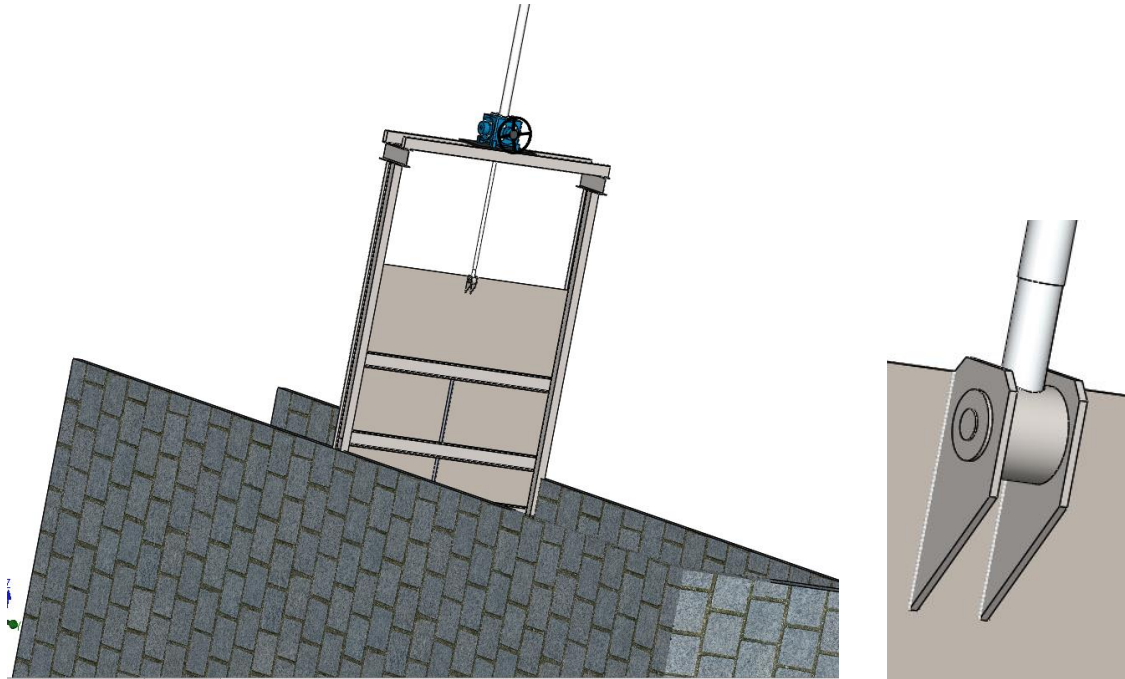


Figura 16. Unión Tablero-Husillo. ORIGEN: SolidWorks.

2.Metodología

El análisis del bulón se llevó a cabo mediante la herramienta de simulación de SolidWorks, que permite modelar y evaluar el comportamiento del componente bajo diferentes condiciones de carga. El bulón se sometió a fuerzas representativas del funcionamiento real, y se analizaron las deformaciones y tensiones resultantes. Situando las alas de la pieza en geometría fija y aplicando el caso de carga de 32967 N de forma ascendente en el husillo.

Cálculo de la Unión Tablero-Husillo.

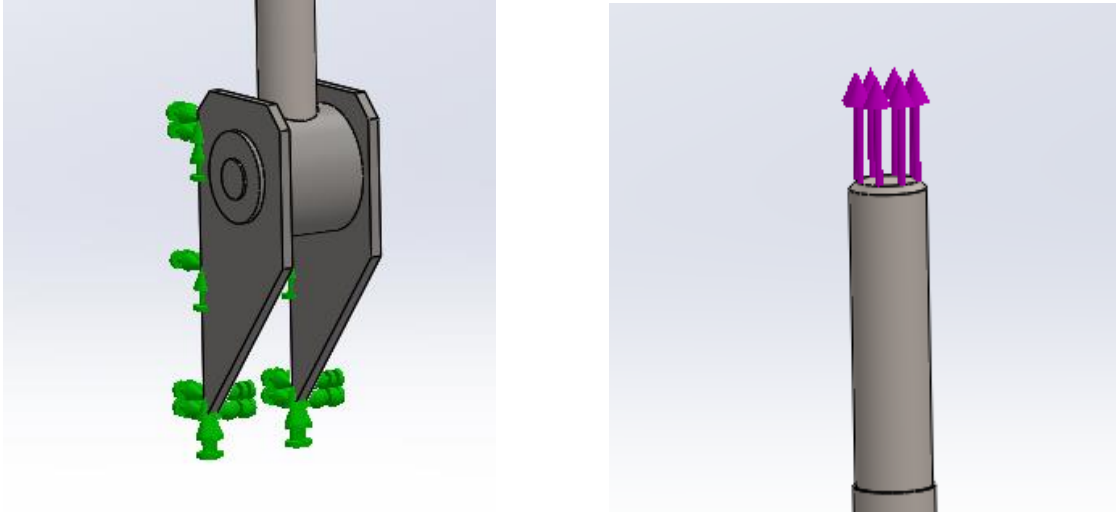


Figura 17. Aplicación de condiciones del modelo. ORIGEN: SolidWorks.

3.Resultados

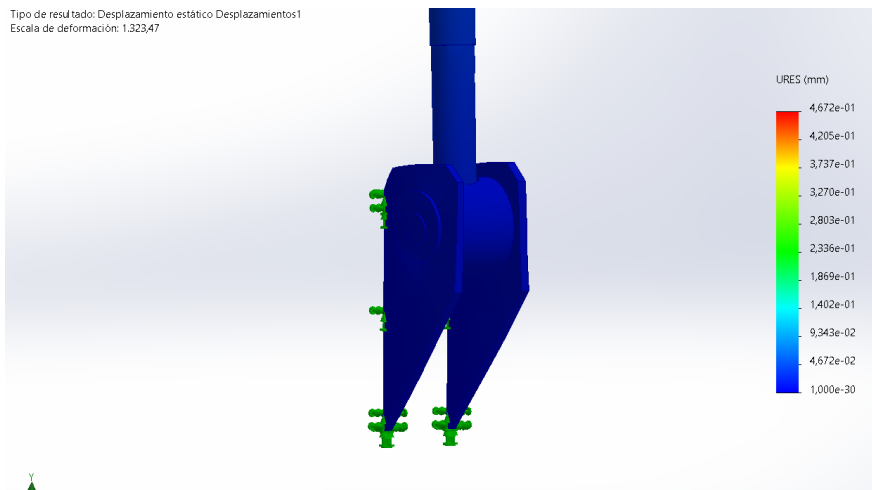


Figura 18. Vista de la pieza en simulación. ORIGEN: SolidWorks.

Las simulaciones mostraron que las deformaciones del bulón son mínimas, lo que indica que el componente mantiene su integridad estructural bajo las cargas aplicadas. Las capturas de pantalla adjuntas muestran la distribución de las deformaciones a lo largo del bulón, destacando las áreas de máxima deflexión.

Cálculo de la Unión Tablero-Husillo.

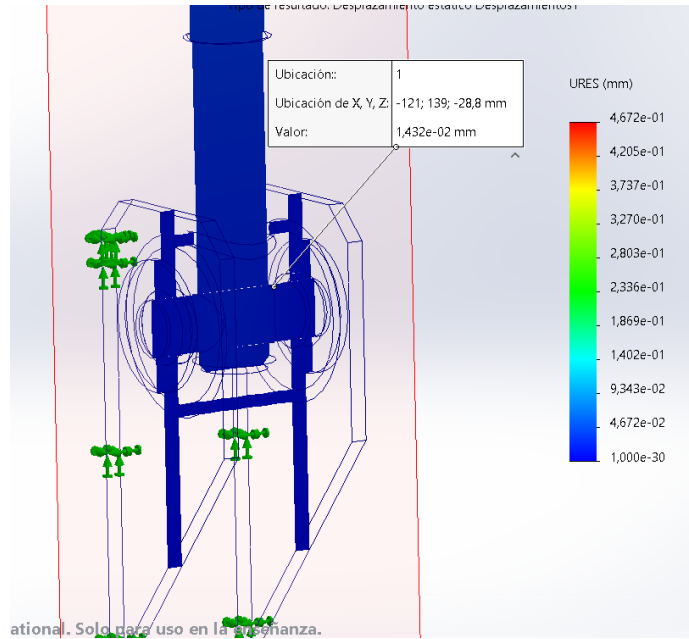
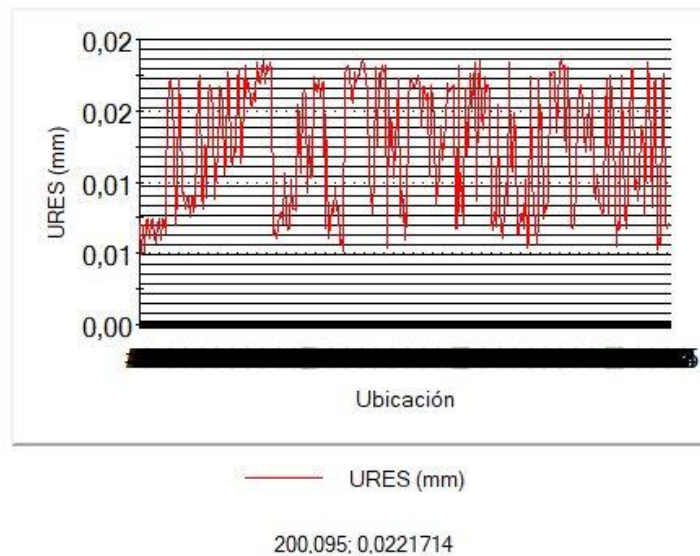


Figura 19. Vista del bulón en sección su deformación máxima. ORIGEN: SolidWorks.

Deformación máxima: 0.22 mm

Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminac
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamie



Gráfica 10. Deformaciones numéricas a lo largo de la superficie del bulón. ORIGEN: SolidWorks.

El análisis de la tensión equivalente de Von Mises es crucial para determinar si el bulón puede soportar las cargas sin sufrir fallos estructurales. El bulón es del mismo material que el resto de la compuerta S-275JR con un modulo de rotura de 410MPa que minorinando el valor, se necesitaría unas tensiones generadas en la pieza de estudio de 350 MPa. Las siguientes figuras adjuntas ilustran la distribución de estas tensiones en el bulón.

Cálculo de la Unión Tablero-Husillo.

Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1.323,47

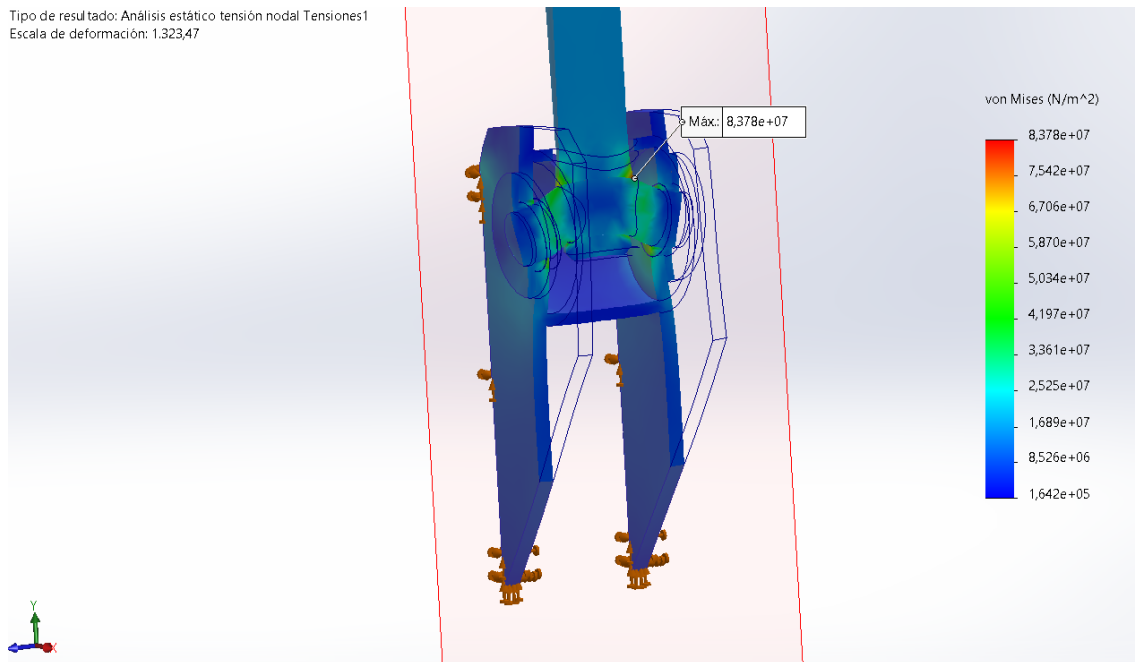


Figura 20. Estado tensional Von Mises. ORIGEN: SolidWorks.

Tensión máxima de Von Mises: 83,7 MPa

Las tensiones equivalentes de Von Mises observadas están dentro de los límites aceptables para el material del bulón, lo que confirma que el diseño es seguro y adecuado para su aplicación.

4.Conclusión

El cálculo estructural del bulón que une el tablero con el husillo, realizado mediante SolidWorks, demuestra que el componente es capaz de soportar las cargas operativas con mínimas deformaciones y tensiones dentro de los límites aceptables. Las simulaciones proporcionan una visualización clara de las áreas críticas y aseguran que el diseño cumple con los requisitos de seguridad y durabilidad. A continuación, se presentan las capturas de pantalla que muestran las deformaciones y la tensión equivalente de Von Mises para una mejor comprensión del análisis realizado.

Pliego de condiciones

1. Disposiciones Generales

1.1 Disposiciones de Carácter General

1.1.1 Objeto del Pliego de Condiciones

El presente documento tiene como finalidad establecer y definir los criterios de relación entre los diferentes agentes intervinientes en la ejecución de la obra de la compuerta hidráulica, así como servir de base para la realización del contrato de obra entre el promotor y el contratista.

1.1.2 Contrato de Obra

El contrato de ejecución de las obras se recomienda realizar mediante el uso de unidades de obra, conforme a los documentos del proyecto y en cifras fijas. El director de obra proporcionará la documentación necesaria para la formalización de dicho contrato.

1.1.3 Documentación del Contrato de Obra

El contrato de obra estará compuesto por los siguientes documentos, ordenados por su valor de especificación en caso de omisión o contradicción:

Condiciones fijadas en el documento de Contrato Administrativo.

El presente Pliego General de Condiciones.

Documentación complementaria del Proyecto (memoria, planos y presupuestos).

1.1.4 Reglamentación Urbanística

El proyecto cumplirá con todas las limitaciones urbanísticas aprobadas por los organismos competentes, especialmente en lo relativo a alturas, volumen, emplazamiento y ocupación de la compuerta. Además, se ajustará a todas las condiciones de reforma que exija la administración.

1.1.5 Jurisdicción Competente

En caso de desacuerdo, las partes expondrán las cuestiones derivadas del contrato a las autoridades y tribunales administrativos conforme a la legislación vigente, siendo competente la jurisdicción donde se encuentre ubicada la obra.

1.1.6 Responsabilidad del Contratista

El contratista será responsable directo de la ejecución de las obras conforme a lo dispuesto en el contrato de obra y los documentos del proyecto. Está obligado a demoler y reconstruir las unidades de obra que presenten deficiencias o estén mal ejecutadas, sin admitir como excusa la revisión y reconocimiento de la Dirección Facultativa.

1.1.7 Accidentes Laborales

Se cumplirá con el Real Decreto 604/2006 y demás legislación vigente relacionada con la seguridad y salud en las obras de construcción. El Coordinador de Seguridad y Salud será

responsable del control y seguimiento durante la ejecución de la obra del Plan de Seguridad y Salud establecido por el contratista.

1.1.8 Daños y Perjuicios a Terceros

El contratista será responsable directo de todos los accidentes que afecten tanto la edificación como las zonas colindantes. Deberá indemnizar a los afectados y cubrir los daños y perjuicios ocasionados por la realización de las obras.

1.1.9 Copia de Documentos

El contratista podrá realizar copias de los documentos del proyecto bajo su responsabilidad.

1.1.10 Suministro de Materiales

El contrato deberá especificar claramente la responsabilidad del contratista por deficiencias o retrasos en el suministro de materiales.

1.1.11 Causas de Rescisión del Contrato en Obra

Son causas de rescisión del contrato: muerte o incapacitación del contratista, quiebra económica, modificaciones sustanciales del proyecto, suspensión de obra por más de un año, retrasos injustificados en el inicio o finalización de la obra, y abandono de la obra.

1.2 Disposiciones Relativas a Trabajos, Materiales y Medios Auxiliares

1.2.1 Accesos y Vallados

El contratista deberá disponer y mantener los accesos y vallados de la obra.

1.2.2 Replanteo

El contratista será responsable del replanteo inicial de la obra, que deberá ser aprobado por el director de ejecución.

1.2.3 Inicio de la Obra y Ritmo de Ejecución

El contratista iniciará las obras en el plazo estipulado y ejecutará los trabajos conforme al ritmo establecido en el contrato.

1.2.4 Facilidades para Otros Contratistas

El contratista deberá facilitar la ejecución de trabajos a subcontratas y otros contratistas, conforme a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

1.2.5 Ampliación del Proyecto por Causas Imprevistas

La ampliación del proyecto por causas imprevistas deberá continuar sin interrupciones, según las instrucciones de la Dirección Facultativa.

1.2.6 Interpretaciones, Aclaraciones y Modificaciones del Proyecto

El contratista podrá solicitar asesoramiento para la correcta ejecución del proyecto. Las interpretaciones y modificaciones deberán comunicarse por escrito.

1.2.7 Prórroga por Causa de Fuerza Mayor

En casos de fuerza mayor, el contratista podrá solicitar una prórroga del plazo de ejecución.

1.2.8 Responsabilidad de la Dirección Facultativa en Retraso de Obra

El contratista no podrá alegar la falta de planos u órdenes de la Dirección Facultativa para justificar retrasos en la obra, salvo que los haya solicitado por escrito y no se le hayan proporcionado.

1.2.9 Trabajos Defectuosos

El contratista deberá emplear materiales que cumplan con las condiciones del proyecto y realizar los trabajos conforme a lo estipulado.

1.2.10 Vicios Ocultos y Defectos

El contratista será responsable de los defectos y vicios ocultos durante el periodo de garantía y hasta los plazos prescritos en la L.O.E.

1.2.11 Procedencia de los Materiales, Aparatos y Equipos Utilizados

El contratista podrá elegir la procedencia de los materiales, aparatos y equipos, salvo que se especifique una procedencia concreta en el proyecto.

1.2.12 Presentación de Muestras de Productos

El contratista deberá presentar muestras de materiales, aparatos y equipos cuando lo solicite el Director de Obra.

1.2.13 Materiales, Aparatos y Equipos Defectuosos

El Director de Obra podrá ordenar la sustitución de materiales, aparatos y equipos que no cumplan con las especificaciones del proyecto.

1.2.14 Gastos Ocasionados por la Realización de Pruebas y Ensayos

Los gastos generados por pruebas y ensayos correrán a cuenta del contratista.

1.2.15 Limpieza de las Obras

El contratista deberá mantener las obras limpias y en condiciones óptimas de salubridad.

1.3 Disposiciones sobre las Recepciones de la Compuerta Hidráulica

1.3.1 Consideraciones de Carácter General

La recepción de la compuerta hidráulica se realizará una vez finalizada la instalación y comprobado su correcto funcionamiento. La recepción podrá realizarse con o sin reservas y deberá constar en un acta firmada por el promotor y el contratista.

1.3.2 Recepción Provisional

El Director de Ejecución comunicará al promotor la proximidad de la finalización de la instalación de la compuerta, y se realizará la recepción provisional con la intervención de

todas las partes involucradas, incluyendo una verificación exhaustiva del correcto funcionamiento de la compuerta.

1.3.3 Documentación Final de la Obra

El Director de Ejecución, con la asistencia del contratista, redactará la documentación final de la instalación, que será entregada al promotor. Esta documentación incluirá los planos finales, manuales de operación y mantenimiento, y certificados de calidad y conformidad.

1.3.4 Medición Definitiva y Liquidación Provisional de la Obra

Una vez realizada la recepción provisional, se procederá a la medición definitiva y liquidación provisional de la obra, con la participación del Director de Ejecución y el contratista.

1.3.5 Plazo de Garantía

El plazo de garantía de la instalación deberá estipularse en el contrato privado, y no podrá ser inferior a seis meses. Durante este periodo, el contratista será responsable de cualquier defecto o fallo que pueda surgir.

1.3.6 Conservación de la Compuerta Durante el Plazo de Garantía

Los gastos de conservación de la compuerta durante el plazo de garantía correrán a cuenta del contratista, salvo que se acuerde lo contrario en el contrato. Cualquier intervención necesaria para asegurar el correcto funcionamiento de la compuerta será realizada por el contratista.

1.3.7 Recepción Definitiva

La recepción definitiva se realizará una vez transcurrido el plazo de garantía, de igual manera que la recepción provisional. Será a partir de esta fecha cuando prescriba la obligación del contratista de reparar desperfectos relacionados con la conservación normal de la compuerta.

1.3.8 Prórroga del Plazo de Garantía

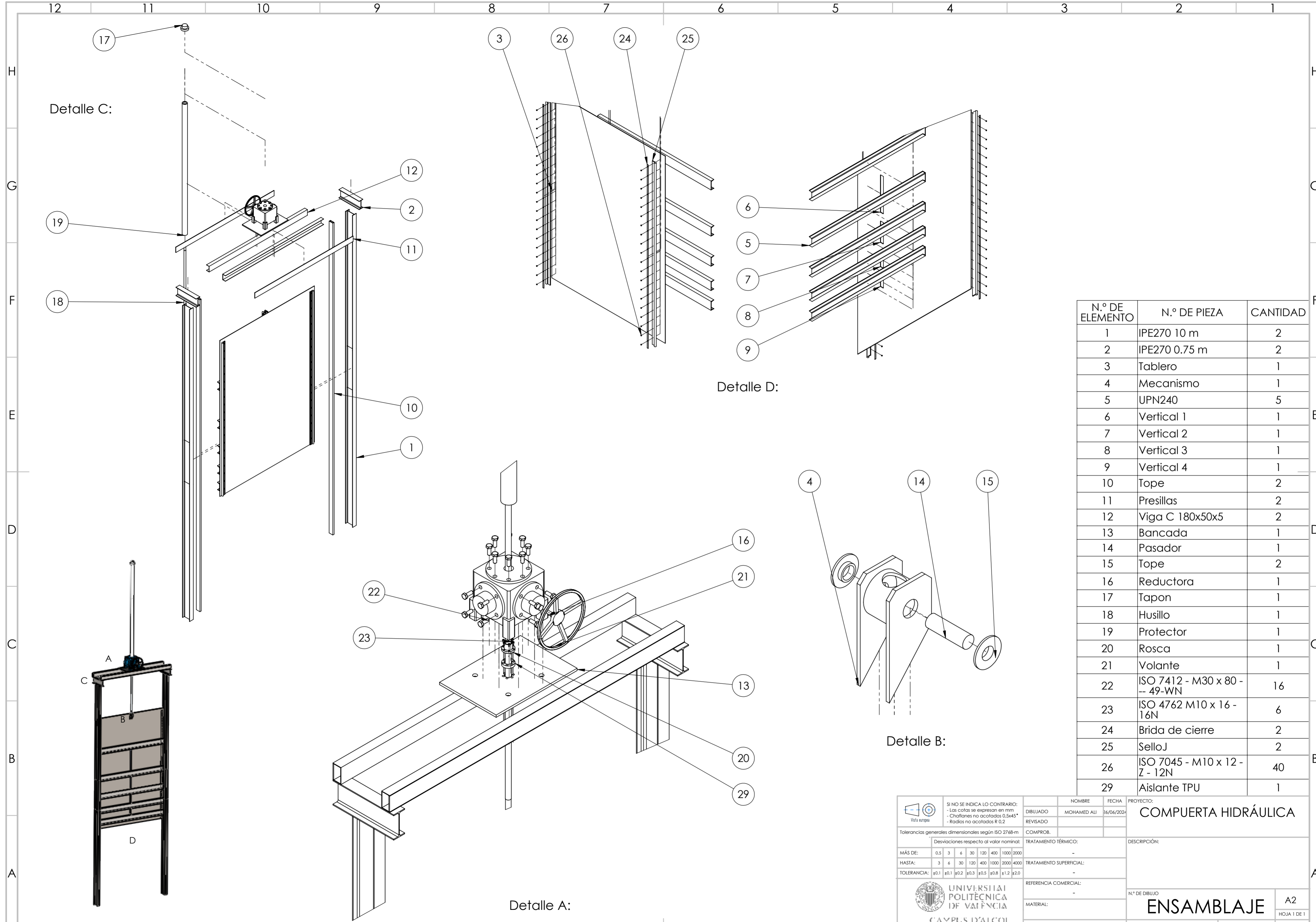
Si en la recepción definitiva la compuerta no se encuentra en condiciones adecuadas, se aplazará la recepción y el Director de Obra indicará las obras de rehabilitación necesarias, fijando nuevos plazos y formas de ejecución.

1.3.9 Recepciones de Trabajos cuya Contrata haya sido Rescindida

En caso de rescisión del contrato, el contratista deberá retirar su maquinaria e instalaciones, resolver los subcontratos y dejar la obra en condiciones que permitan su reanudación por otra empresa sin problemas.

Planos

Planos

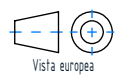
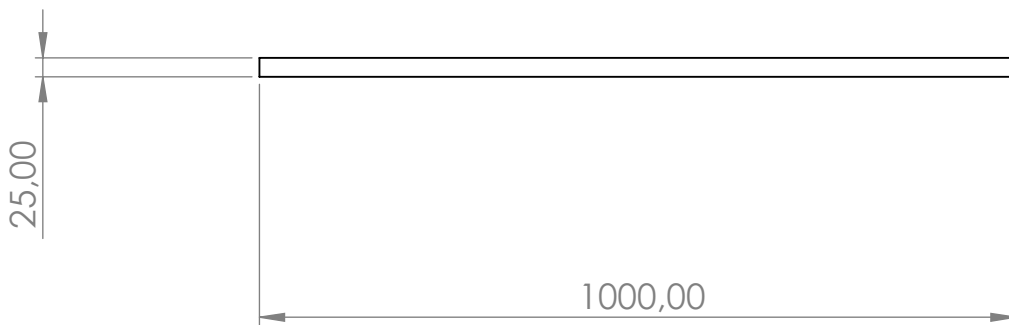
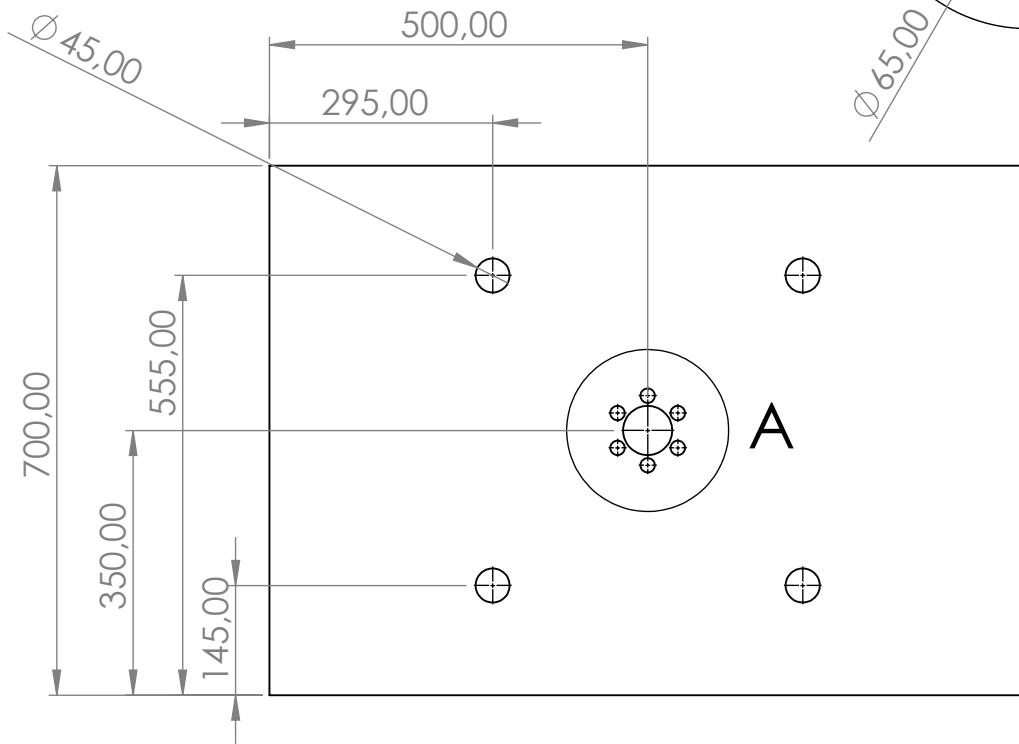
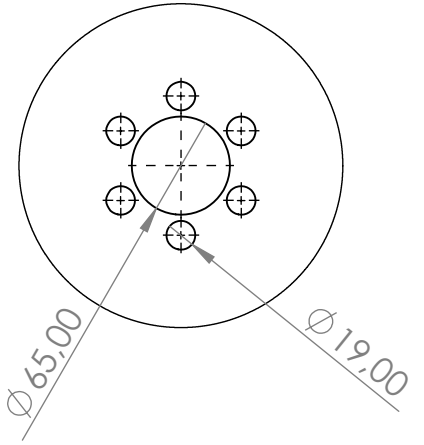


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	IPE270 10 m	2
2	IPE270 0.75 m	2
3	Tablero	1
4	Mecanismo	1
5	UPN240	5
6	Vertical 1	1
7	Vertical 2	1
8	Vertical 3	1
9	Vertical 4	1
10	Tope	2
11	Presillas	2
12	Viga C 180x50x5	2
13	Bancada	1
14	Pasador	1
15	Tope	2
16	Reductora	1
17	Tapon	1
18	Husillo	1
19	Protector	1
20	Rosca	1
21	Volante	1
22	ISO 7412 - M30 x 80 - -- 49-WN	16
23	ISO 4762 M10 x 16 - 16N	6
24	Brida de cierre	2
25	SelloJ	2
26	ISO 7045 - M10 x 12 - Z - 12N	40
29	Aislante TPU	1

<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI</p>	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Challanes no acotados 0.5x45° - Radios no acotados R 0.2	NOMBRE: MOHAMED ALI FECHA: 26/06/2024	PROYECTO: COMPUERTA HIDRÁULICA	
	Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m	DIBUJADO: REVISADO: COMPROB.:	DESCRIPCIÓN:	
	Desviaciones respecto al valor nominal: MÁS DE: 0.5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: ±0.1 ±0.1 ±0.2 ±0.3 ±0.5 ±0.8 ±1.2 ±2.0	TRATAMIENTO TÉRMICO: TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	N.º DE DIBUJO: ENSAMBLAJE	A2 HOJA 1 DE 1 ESCALA: 1:100
	REFERENCIA COMERCIAL: MATERIAL:	GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA	PESO:	CANTIDAD:

DETALLE A

ESCALA 1 : 5



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 - Las cotas se expresan en mm
 - Chafilanes no acotados 0,5x45°
 - Radios no acotados R 0,2

Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m

	Desviaciones respecto al valor nominal:						
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000 2000
HASTA:	3	6	30	120	400	1000 2000	4000
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2 ±2,0



UNIVERSITAT
 POLITÈCNICA
 DE VALÈNCIA
 CAMPUS D'ALCOI

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	Mohamed Ali	27/06/2024
REVISADO		
COMPROB.		
TRATAMIENTO TÉRMICO:	-	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	-	
REFERENCIA COMERCIAL:	-	
MATERIAL:	S-275JR	
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		

PROYECTO:
COMPUERTA HIDRÁULICA

DESCRIPCIÓN:

N.º DE DIBUJO
Bancada

PESO: CANTIDAD: - ESCALA: 1:20

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

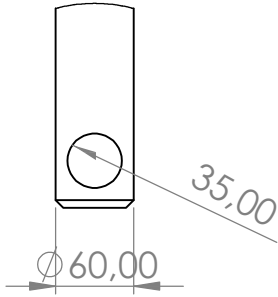
C

B

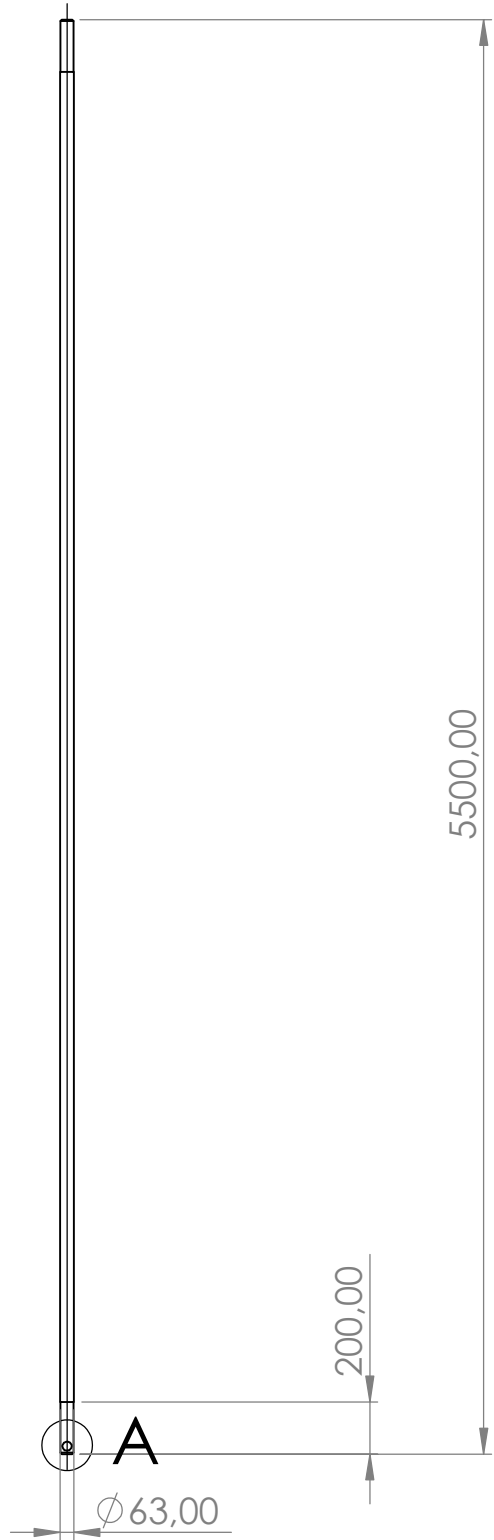
B

A

A



DETALLE A
ESCALA 1 : 5



 Vista europea	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2	NOMBRE	FECHA	PROYECTO: COMPUERTA HIDRAÚLICA										
		DIBUJADO	MOHAMED ALI		26/06/2024									
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m		COMPROB.		DESCRIPCIÓN: HUSILLO										
Desviaciones respecto al valor nominal:		TRATAMIENTO TÉRMICO:												
MÁS DE:	<table border="1"> <tr> <td>Ø5</td><td>120</td><td>300</td><td>1000</td><td>2000</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>	Ø5	120		300	1000	2000						TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	
Ø5	120	300	1000		2000									
HASTA:	<table border="1"> <tr> <td>30</td><td>126</td><td>400</td><td>1000</td><td>2000</td><td>4000</td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>	30	126	400	1000	2000	4000					REFERENCIA COMERCIAL:		
30	126	400	1000	2000	4000									
TOLERANCIA:	<table border="1"> <tr> <td>0,1</td><td>±</td><td>±0,1</td><td>±0,2</td><td>±0,3</td><td>±0,5</td><td>±0,8</td><td>±1,2</td><td>±2</td><td>±0</td> </tr> </table>	0,1	±	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±0	MATERIAL:	F-114	
0,1	±	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±0					
		GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE DIBUJO HUSILLO										
				A4 HOJA 1 DE 1 ESCALA:1:50										
				PESO: CANTIDAD: -										

4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

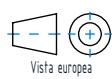
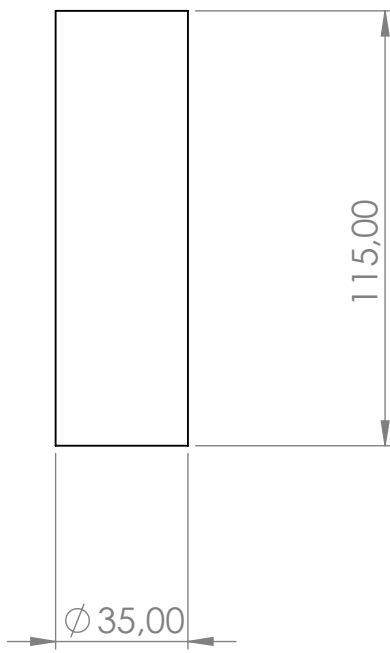
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 - Las cotas se expresan en mm
 - Chafilanes no acotados 0,5x45°
 - Radios no acotados R 0,2

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	MOHAMED ALI	26/06/2024
REVISADO		
COMPROB.		

PROYECTO: **COMPUERTA HIDRÁULICA**

Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m

	Desviaciones respecto al valor nominal:							
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000	2000
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0

TRATAMIENTO TÉRMICO:
-

TRATAMIENTO SUPERFICIAL:
-

REFERENCIA COMERCIAL:
-

MATERIAL:
S 275JR

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DESCRIPCIÓN:

N.º DE DIBUJO

PASADOR

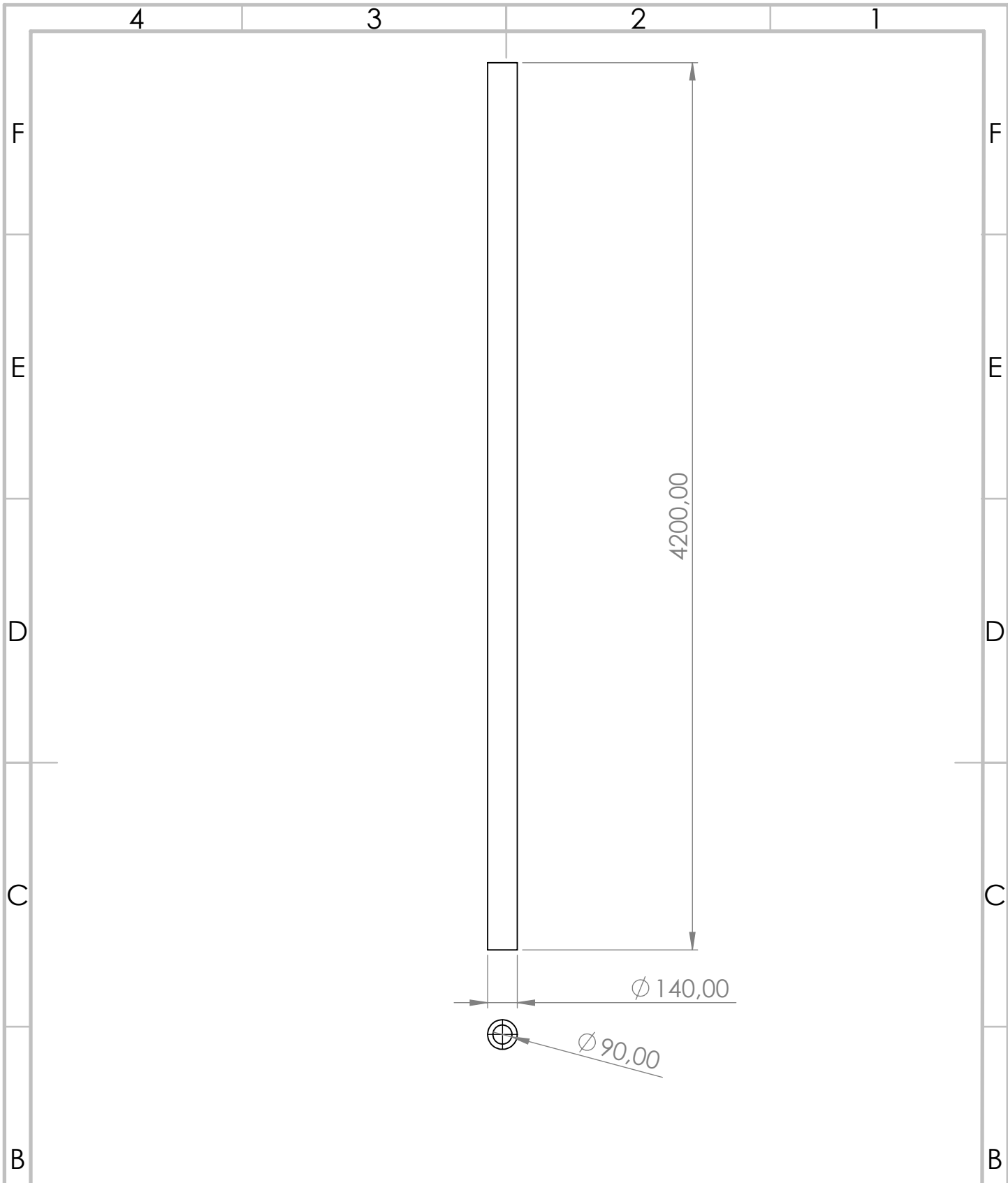
A4

HOJA 1 DE 1

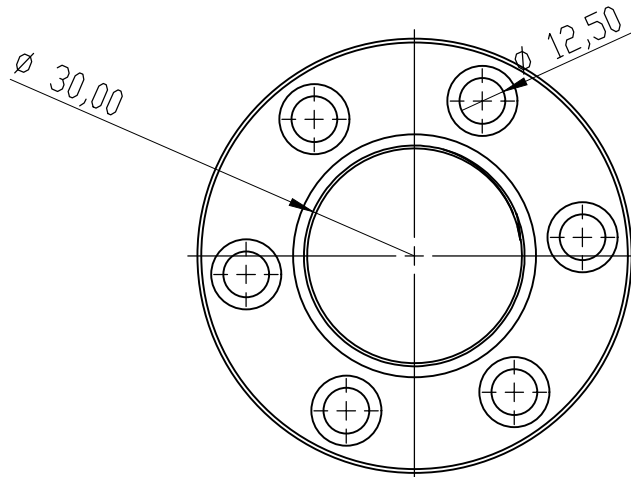
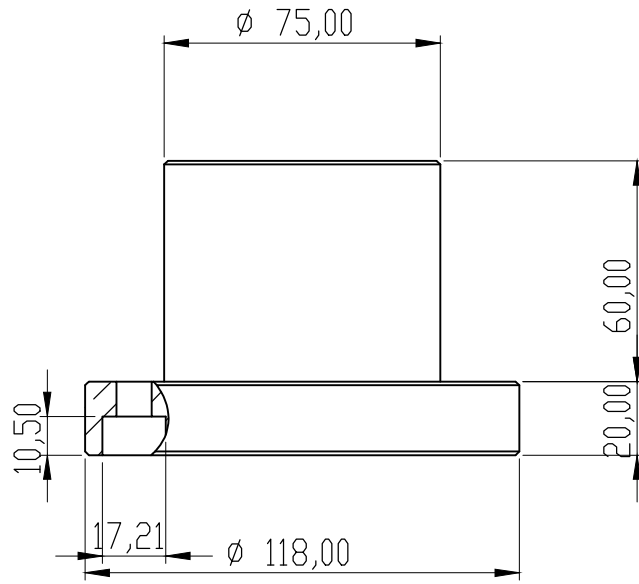
ESCALA:1:2

PESO: CANTIDAD: -

4 3 2 1



<p>Vista europea</p>	<p>SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2 	NOMBRE	FECHA	PROYECTO: COMPUERTA HIDRÁULICA																											
		DIBUJADO	MOHAMED ALI		26/06/2024																										
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m		COMPROB.		DESCRIPCIÓN: Protector																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MÁS DE:</th> <th>0,5</th> <th>3</th> <th>6</th> <th>30</th> <th>120</th> <th>400</th> <th>1000</th> <th>2000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HASTA:</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA:</td> <td>±0,1</td> <td>±0,1</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> <td>±0,8</td> <td>±1,2</td> <td>±2,0</td> </tr> </tbody> </table>		MÁS DE:	0,5		3	6	30	120	400	1000	2000	HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000	TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0	TRATAMIENTO TÉRMICO:	-
MÁS DE:	0,5	3	6		30	120	400	1000	2000																						
HASTA:	3	6	30		120	400	1000	2000	4000																						
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0																							
		TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	-																												
<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> <p>CAMPUS D'ALCOI</p>		REFERENCIA COMERCIAL:	-	N.º DE DIBUJO	A4																										
		MATERIAL:		ESCALA: 1:50																											
		GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		PESO:																											
				CANTIDAD:	-																										



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 - Las cotas se expresan en mm
 - Chaflanes no acotados 0,5x45
 - Radios no acotados R 0,2

NOMBRE: MOHAMED ALI

FECHA: 27/06/2024

PROYECTO:

COMPUERTA HIDRÁULICA

Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m

Desviaciones respecto al valor nominal

MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2 ±2,0

TRATAMIENTO TÉRMICO:

2000 -

DESCRIPCIÓN:

TRATAMIENTO SUPERFICIAL:

-

REFERENCIA COMERCIAL:

-

Nº DE DIBUJO

ROSCA Tr60x9

A4

HOJA 1 DE 1

MATERIAL:
BRONCE 88/12

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

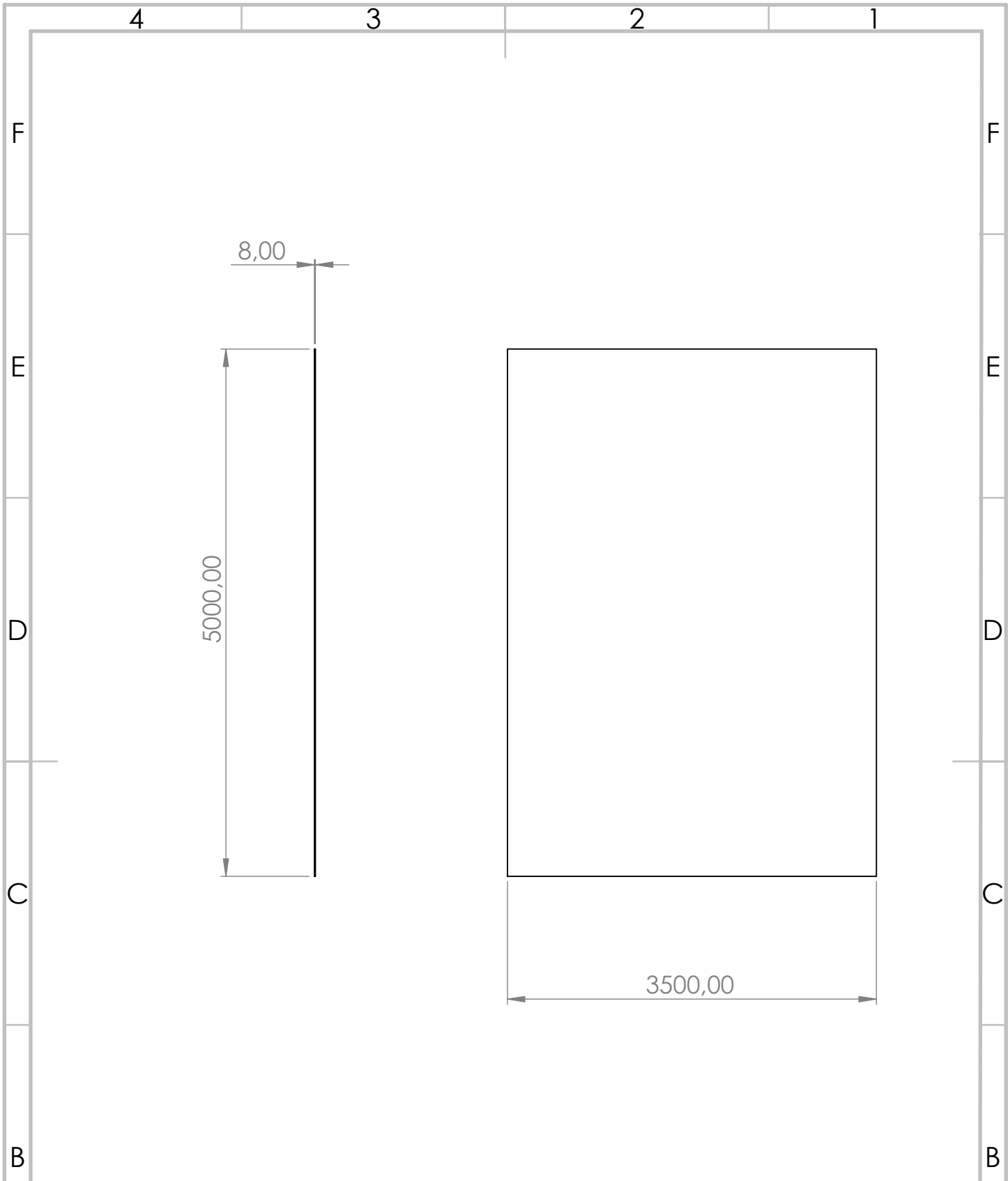
PESO:



CANTIDAD:

-

ESCALA:1:2





 Vista europea	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2							NOMBRE	FECHA	PROYECTO: COMPUERTA HIDRÁULICA
	Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m							DIBUJADO	MOHAMED ALI 26/06/2024	
Desviaciones respecto al valor nominal:							REVISADO		DESCRIPCIÓN: Tablero	
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000	2000		N.º DE DIBUJO A4
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000		
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0		
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI							TRATAMIENTO TÉRMICO:		PESO:	
							TRATAMIENTO SUPERFICIAL:			CANTIDAD: -
							REFERENCIA COMERCIAL:		ESCALA: 1:50	
							MATERIAL:	S 275JR		
							GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA			

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

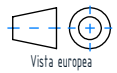
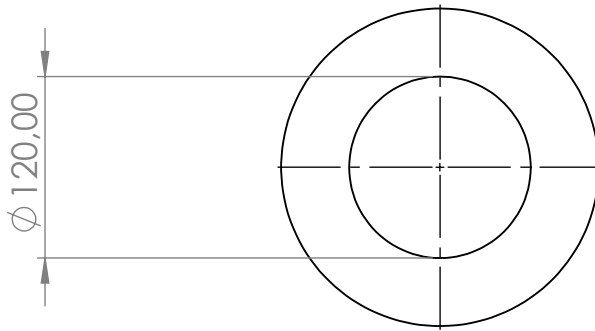
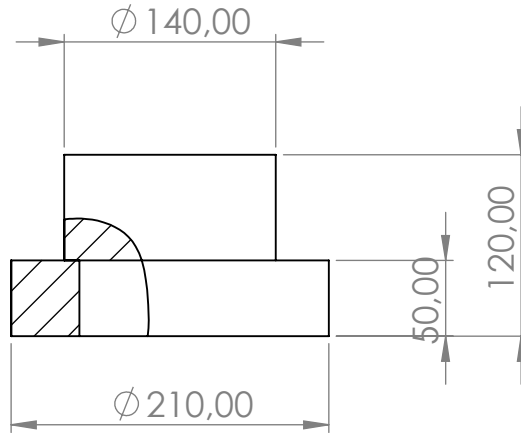
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 - Las cotas se expresan en mm
 - Chafilanes no acotados 0,5x45°
 - Radios no acotados R 0,2

Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m

	Desviaciones respecto al valor nominal:						
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000 2000
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000 4000
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2 ±2,0



UNIVERSITAT
 POLITÈCNICA
 DE VALÈNCIA
 CAMPUS D'ALCOI

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	MOHAMED ALI	26/06/2024
REVISADO		
COMPROB.		
TRATAMIENTO TÉRMICO:	-	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	-	
REFERENCIA COMERCIAL:	-	
MATERIAL:	S 275JR	
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		

PROYECTO:
COMPUERTA HIDRÁULICA

DESCRIPCIÓN:

N.º DE DIBUJO	TAPÓN	A4
PESO:	CANTIDAD: -	ESCALA:1:5

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

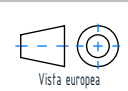
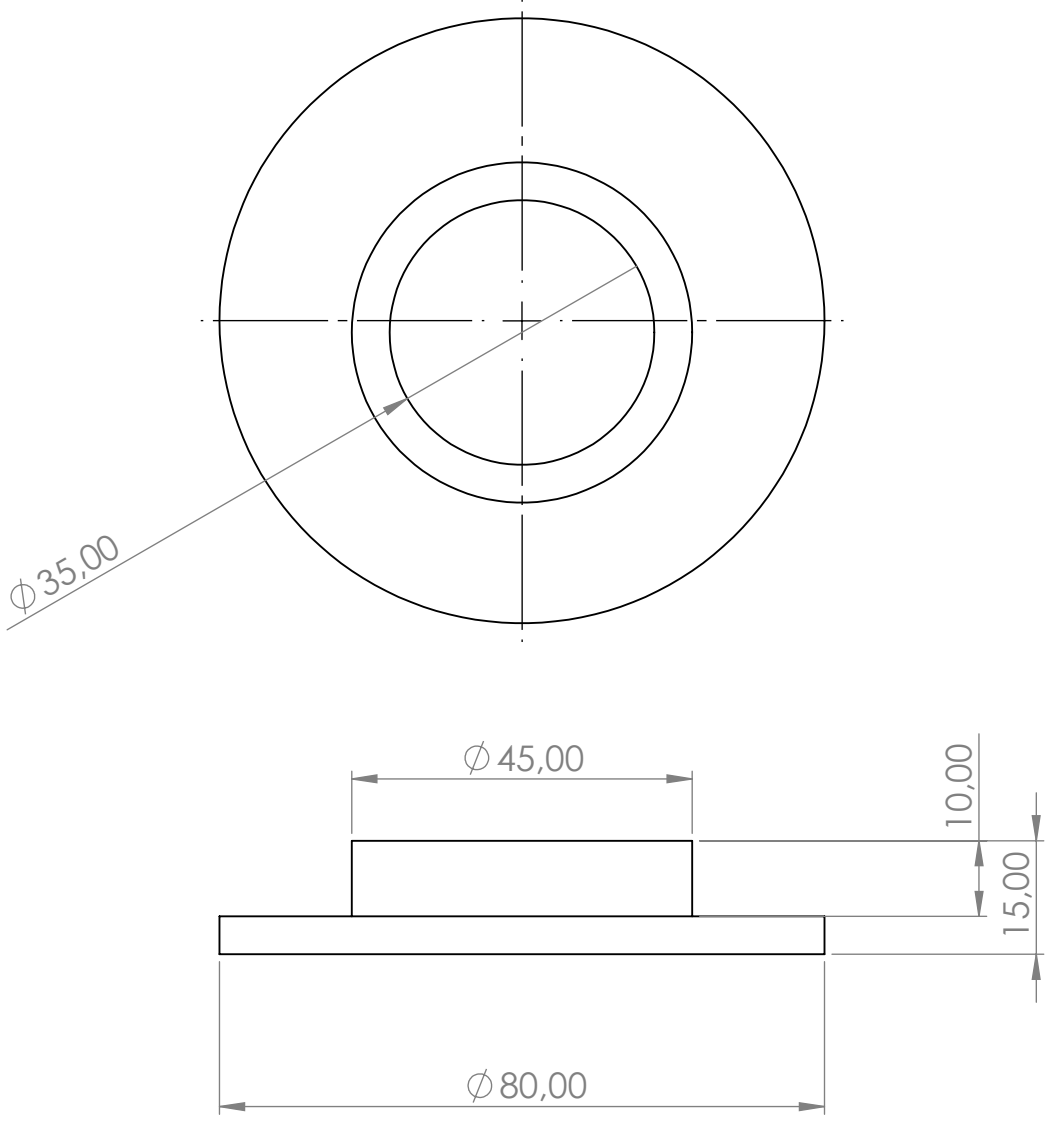
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 - Las cotas se expresan en mm
 - Chafilanes no acotados 0,5x45°
 - Radios no acotados R 0,2

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	MOHAMED ALI	26/06/2024
REVISADO		
COMPROB.		

PROYECTO: **COMPUERTA HIDRÁULICA**

Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m

	Desviaciones respecto al valor nominal:						
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000 2000
HASTA:	3	6	30	120	400	1000 2000 4000	
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2 ±2,0

TRATAMIENTO TÉRMICO:
-

TRATAMIENTO SUPERFICIAL:
-

REFERENCIA COMERCIAL:
-

MATERIAL:
S 275JR

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

DESCRIPCIÓN:

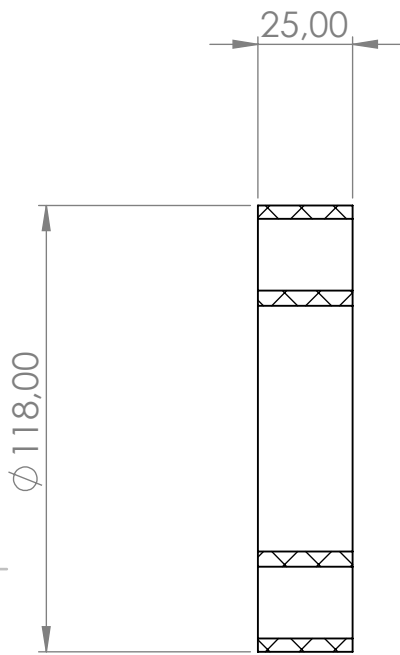
N.º DE DIBUJO
PASADOR



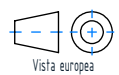
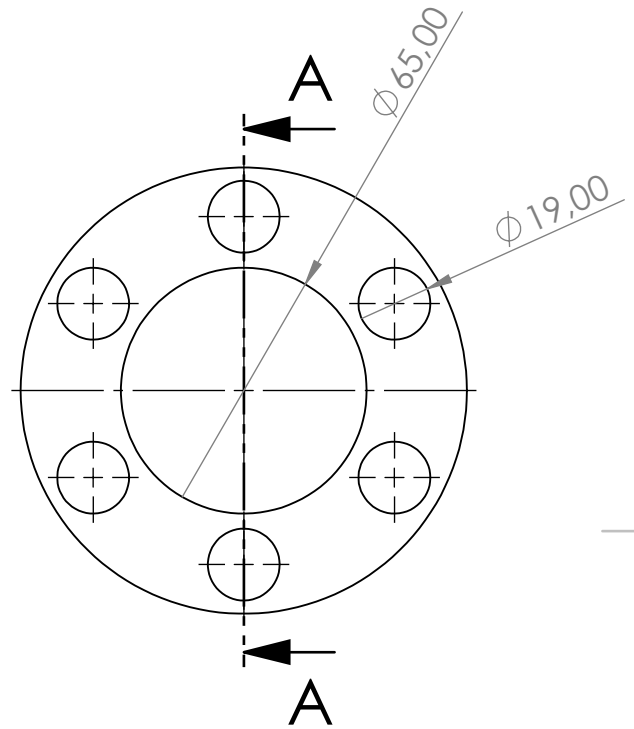
A4
HOJA 1 DE 1
ESCALA:1:1

PESO: CANTIDAD: -

4 3 2 1



SECCIÓN A-A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 - Las cotas se expresan en mm
 - Chafilanes no acotados 0,5x45°
 - Radios no acotados R 0,2

Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m

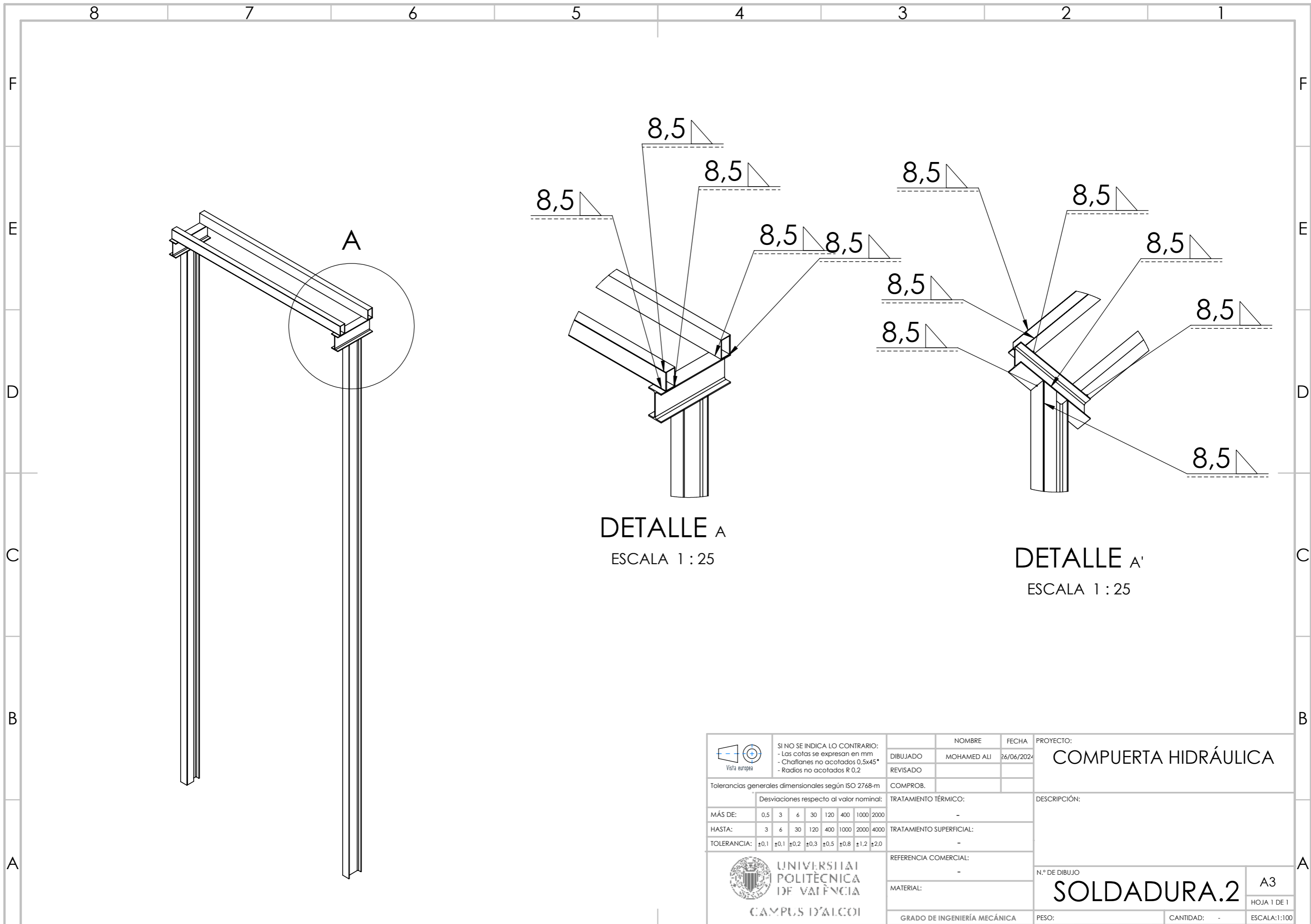
	Desviaciones respecto al valor nominal:						
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000 2000
HASTA:	3	6	30	120	400	1000 2000	4000
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2 ±2,0



UNIVERSITAT
 POLITÈCNICA
 DE VALÈNCIA
 CAMPUS D'ALCOI

	NOMBRE	FECHA
DIBUJADO	Mohamed Ali	27/06/2024
REVISADO		
COMPROB.		
TRATAMIENTO TÉRMICO:	-	
TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	-	
REFERENCIA COMERCIAL:	-	
MATERIAL:	TPU	
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		

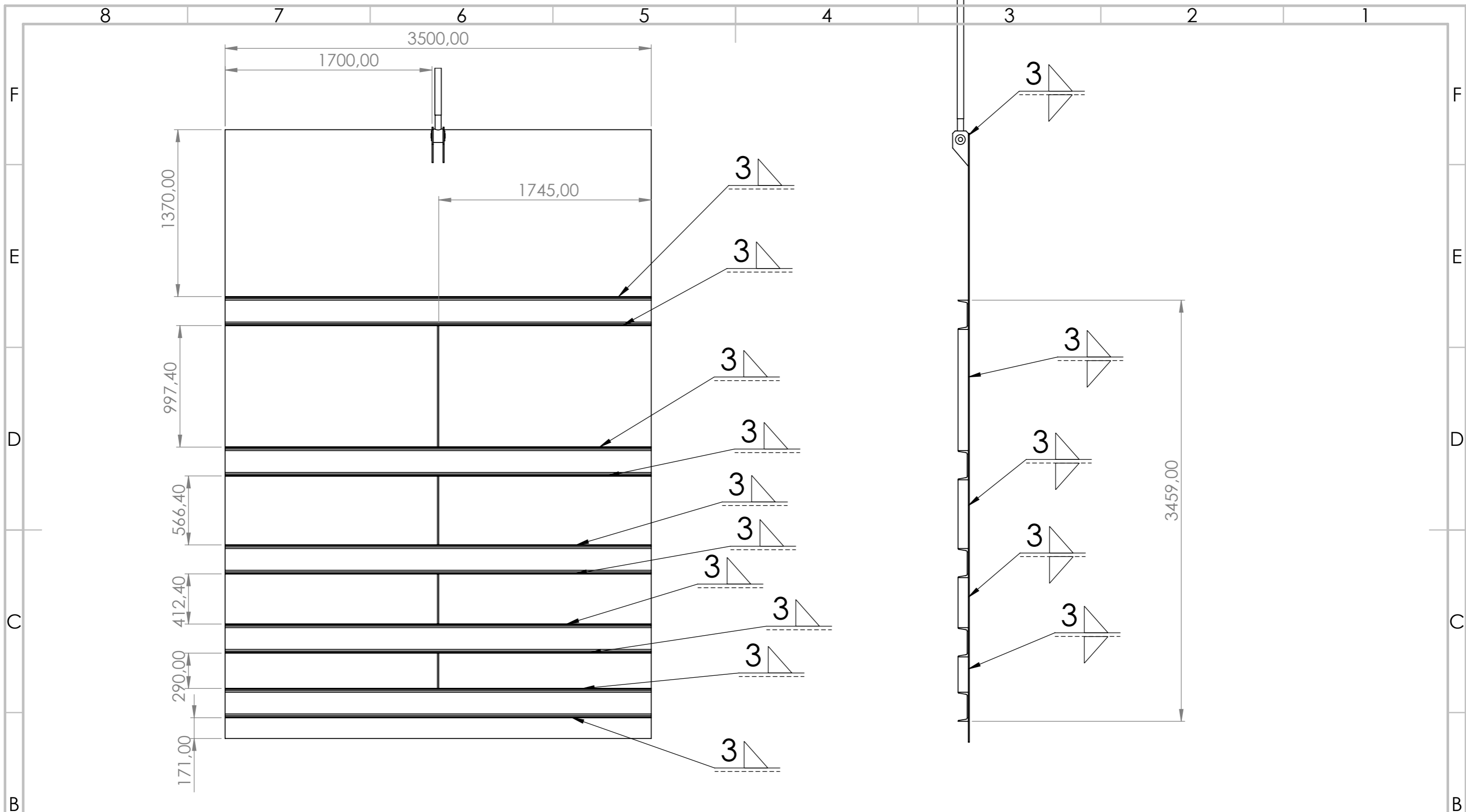
PROYECTO:	COMPUERTA HIDRÁULICA	
DESCRIPCIÓN:	-	
N.º DE DIBUJO	A4	
PESO:	CANTIDAD:	ESCALA:1:2



DETALLE A
ESCALA 1 : 25

DETALLE A'
ESCALA 1 : 25

	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chafilanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2		NOMBRE	FECHA	PROYECTO: COMPUERTA HIDRÁULICA					
	DIBUJADO	MOHAMED ALI	26/06/2024							
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m Desviaciones respecto al valor nominal:			REVISADO		DESCRIPCIÓN:					
MÁS DE:	0,5	3	6	30		120	400	1000	2000	TRATAMIENTO TÉRMICO:
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000	TRATAMIENTO SUPERFICIAL:	-
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0	REFERENCIA COMERCIAL:	-
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI			MATERIAL:		N.º DE DIBUJO SOLDADURA.2					
			GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA			PESO: - CANTIDAD: -				
					A3 HOJA 1 DE 1 ESCALA: 1:100					



	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - Las cotas se expresan en mm - Chaflanes no acotados 0,5x45° - Radios no acotados R 0,2			NOMBRE	FECHA	PROYECTO: COMPUERTA HIDRÁULICA																											
	DIBUJADO	MOHAMED ALI	26/06/2024	REVISADO																													
Tolerancias generales dimensionales según ISO 2768-m Desviaciones respecto al valor nominal:		<table border="1"> <tr> <td>MÁS DE:</td> <td>0,5</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>HASTA:</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>30</td> <td>120</td> <td>400</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA:</td> <td>±0,1</td> <td>±0,1</td> <td>±0,2</td> <td>±0,3</td> <td>±0,5</td> <td>±0,8</td> <td>±1,2</td> <td>±2,0</td> </tr> </table>		MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000	2000	HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000	TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0	COMPROB.		DESCRIPCIÓN:
MÁS DE:	0,5	3	6	30	120	400	1000	2000																									
HASTA:	3	6	30	120	400	1000	2000	4000																									
TOLERANCIA:	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0																									
		TRATAMIENTO TÉRMICO: -		TRATAMIENTO SUPERFICIAL: -		N.º DE DIBUJO SOLDADURA.1																											
		REFERENCIA COMERCIAL: -		MATERIAL: -																													
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		PESO: - CANTIDAD: -		A3 HOJA 1 DE 1 ESCALA: 1:100																											

Presupuesto

Presupuesto

Presupuesto de Obra

It.	DENOMINACIÓN	Descripción	Un	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Infraestructura de Apoyo	Descripción				2.873,00 €
L.1	Construcción de la Base de Hormigón	Construcción de una base de hormigón reforzada para la instalación de la compuerta.	-	1	1.500,00 €	1.500,00 €
L.2	Alquiler andamios	Alquiler de andamios por día para las labores de construcción.	día	3	13,00 €	39,00 €
L.3	Instalación de Andamios	Montaje de andamios.	hs	3	43,00 €	129,00 €
L.4	Transporte andamios	Transporte de los andamios desde el almacén hasta el sitio de construcción.	Km	60	1,80 €	108,00 €
L.5	Equipos de seguridad	Sistemas de seguridad para los trabajadores.	día	3	29,00 €	87,00 €
L.6	Hormigón	Suministro de hormigón para la base de la compuerta.	m3	5	90,00 €	450,00 €
L.7	Mano de obra	Trabajos de construcción realizados por el personal especializado.	hs	20	20,00 €	400,00 €
L.8	Limpieza	Servicios de limpieza del sitio de construcción para mantener un entorno de trabajo seguro y ordenado.	hs	8	20,00 €	160,00 €
2	Material de acero S275JR	Descripción				7.000,22 €
2.1	IPE 270	Perfiles de acero IPE 270 para la estructura de la compuerta.	m	22	43,23 €	951,06 €
2.2	UPN 240	Perfiles de acero UPN 240 para los rigidizadores de la compuerta.	m	17,5	39,77 €	695,98 €
2.3	U 180x50x5	Perfiles de acero en forma de U para las vigas.	m	7,6	30,22 €	229,67 €
2.4	Presilla 160x10	Perfiles de acero para reforzar la estructura.	m	7	22,32 €	156,24 €
2.5	Tablero 5000x3500x8	Planchas de acero para el tablero principal de la compuerta.	m2	17,5	278,45 €	4.872,88 €
2.6	Pletinas 85x10	Pletinas de acero para conexiones y refuerzos.	m	5	18,88 €	94,40 €
3	Soldadura en taller	Descripción				1.080,00 €
3.1	Uniones rigidizadores con tablero	Soldadura de los rigidizadores al tablero de la compuerta.	hs	8	60,00 €	480,00 €
3.2	Uniones nudos T con pilares	Soldadura de conexiones en forma de T entre los nudos y los pilares.	hs	3	60,00 €	180,00 €
3.3	Uniones nudos T con vigas	Soldadura de conexiones en forma de T entre los nudos y las vigas.	hs	2	60,00 €	120,00 €
3.4	Uniones presillas en vigas U	Soldadura de presillas en las vigas en forma de U.	hs	2,5	60,00 €	150,00 €
3.5	Unión accionamiento en vigas	Soldadura de componentes de accionamiento en las vigas.	hs	1,5	60,00 €	90,00 €
3.6	Unión tablero husillo	Soldadura del mecanismo junta husillo al tablero de la compuerta.	hs	1	60,00 €	60,00 €
4	Ingeniería	Descripción				9.994,37 €
4.1	Permisos y licencias	Tramitación de permisos de construcción y licencias ambientales.	-	1	1.500,00 €	1.500,00 €
4.2	Diseño	Elaboración de planos, especificaciones técnicas y cálculos estructurales.	hs	120	50,00 €	6.000,00 €
4.3	Visado del colegio	Visado del total del proyecto Colegio Oficial de Graduados Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante.	-	0,50%	244,37 €	244,37 €
4.4	Gestión de proyectos	Coordinación de actividades, permisos y licencias.	hs	50	45,00 €	2.250,00 €
5	Instalación	Descripción				8.341,00 €
5.1	Equipos y herramientas	Alquiler de equipos y herramientas de trabajo de soldadura y corte	-	1	1.500,00 €	1.500,00 €
5.2	Transporte al sitio de instalación con alquiler de camión	Transporte de todos los materiales y equipos al sitio de instalación, incluyendo el alquiler de camión.	-	1	2.500,00 €	2.500,00 €
5.3	Mano de obra de instalación	Trabajo de instalación realizado por el personal especializado.	hs	100	35,00 €	3.500,00 €
5.4	Alquiler andamios	Alquiler de andamios por día para las labores de construcción.	día	12	13,00 €	156,00 €
5.5	Instalación de Andamios	Montaje de andamios.	hs	3	43,00 €	129,00 €
5.6	Transporte andamios	Transporte de los andamios desde el almacén hasta el sitio de construcción.	Km	60	1,80 €	108,00 €
5.7	Equipos de seguridad	Sistemas de seguridad para los trabajadores.	día	12	29,00 €	348,00 €
5.8	Limpieza	Servicios de limpieza del sitio de construcción para mantener un entorno de trabajo seguro y ordenado.	hs	5	20,00 €	100,00 €
6	Mantenimiento	Descripción				3.878,70 €
6.1	Plan de mantenimiento preventivo	Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para asegurar el correcto funcionamiento de la compuerta.	-	1	550,00 €	550,00 €
6.2	Mantenimiento cada año	Monitorización de la compuerta periódicamente.	año	10	332,87 €	3.328,70 €
7	Prueba de estanqueidad	Descripción				300,00 €
7.1	Prueba de estanqueidad	Realización de pruebas para asegurar la estanqueidad de la compuerta hidráulica.	-	1	300,00 €	300,00 €
8	Recubrimiento de la estructura	Descripción				1.538,30 €
8.1	Imprimación oxidante	Recubrimiento de imprimación oxidante a toda la estructura de acero	-	4	55,00 €	220,00 €
8.2	Mano de obra	Trabajo de pintura realizado por personal especializado.	hs	8	34,60 €	276,80 €
8.3	Alquiler andamios	Alquiler de andamios por día para las labores de pintura.	día	1	13,00 €	13,00 €
8.4	Instalación de Andamios	Montaje de andamios.	hs	3	43,00 €	129,00 €
8.5	Transporte andamios	Transporte de los andamios desde el almacén hasta el sitio de construcción.	Km	60	1,80 €	108,00 €
8.6	Equipos de seguridad	Sistemas de seguridad para los trabajadores.	día	1	29,00 €	29,00 €
8.7	Esmalte sintético	Recubrimiento de esmalte sintético protector a toda la estructura de acero	-	5	42,50 €	212,50 €
8.8	Equipos y herramientas	Alquiler de equipos y herramientas de trabajo electricidad	-	1	550,00 €	550,00 €
9	Mecanizado del soporte motor	Descripción				408,00 €
9.1	Material bruto	Material en bruto necesario para el mecanizado del soporte del motor.	Kg	40	3,20 €	128,00 €
9.2	Fresado, corte y taladrado	Procesos de fresado, corte y taladrado del soporte del motor.	hs	5	35,00 €	175,00 €
9.3	Planos de fabricación y transferencia de cotas	Desarrollo de planos de fabricación y transferencia de cotas para el mecanizado.	hs	3	35,00 €	105,00 €
10	Mecanizado de junta tablero con husillo	Descripción				1.602,50 €
10.1	Material bruto	Material en bruto necesario para el mecanizado de la junta entre el tablero y el husillo	Kg	25	5,60 €	140,00 €
10.2	Desbaste, cilindrado y acabado	Procesos de desbaste, cilindrado y acabado de la junta.	hs	16	35,00 €	560,00 €
10.3	Fresado, corte y taladrado	Procesos de fresado, corte y taladrado de la junta.	hs	12	35,00 €	420,00 €
10.4	Planos de fabricación y transferencia de cotas	Desarrollo de planos de fabricación y transferencia de cotas para el mecanizado.	hs	5	47,50 €	237,50 €
10.5	Montaje del mecanismo	Montaje del mecanismo de unión entre el tablero y el husillo.	hs	7	35,00 €	245,00 €
11	Accionamiento	Descripción				2.382,10 €
11.1	Asilante de TPU	Tapa aislante de TPU para corrosión galvánica.	-	1	34,50 €	34,50 €
11.2	Reductora 1:3 SERIE ZE	Reductora Modelo SERIE ZE TECNOPOWER con volante 550 mm.	-	1	950,00 €	950,00 €
11.3	Instalación y montaje	Trabajo de instalación y montaje del sistema de accionamiento.	hs	8	38,70 €	309,60 €
11.4	Alquiler andamios	Alquiler de andamios por día para las labores de construcción.	día	1	13,00 €	13,00 €
11.5	Instalación de Andamios	Montaje de andamios.	hs	3	43,00 €	129,00 €
11.6	Transporte andamios	Transporte de los andamios desde el almacén hasta el sitio de construcción.	Km	60	1,80 €	108,00 €
11.7	Equipos de seguridad	Sistemas de seguridad para los trabajadores.	día	1	29,00 €	29,00 €
11.8	Husillo	Husillo 60x9mm de acero inoxidable F-114.	-	1	566,00 €	566,00 €
11.9	Protector husillo	Protector del husillo para asegurar su correcto funcionamiento y durabilidad.	-	1	160,00 €	160,00 €
11.10	Tapón protector husillo	Tapón protector para el husillo.	-	1	54,00 €	54,00 €
11.11	Rosca	Rosca 60x9mm de bronce 88/12.	-	1	29,00 €	29,00 €
12	Material adicional	Descripción				78,30 €
12.1	Sello del tablero	Sello para asegurar la estanqueidad del tablero tipo "J".	m	13,5	5,80 €	78,30 €
12.2	Pletinas	Pletinas adicionales para refuerzos y conexiones de las juntas con tablero.	m	13,5	6,20 €	83,70 €
12.3	Tornillería	Tornillería necesaria para el montaje y fijación de los componentes.	-	1	78,00 €	78,00 €

Bibliografía

Bibliografía

- AWWA-C561 FABRICATED STAINLESS STEEL SLIDE GATES
- DESIGN OF HYDRAULIC GATES
- DIN 19569-4
- UNE-EN_1993-1=2013
- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12509/1/UPS-CT006478.pdf>
- https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2011/2/CI5104/1/material_docente/bajar?id=388013&lsar=1&file=2
- <https://www.orbinox.es/productos/compuertas/compuerta-de-canal>
- <https://ishidraulicos.es/onewebmedia/COMPUERTAS.pdf>
- CÁLCULO DE EQUIPOS HIDRODINÁMICOS, COMPUERTAS HIDRÁULICAS.
RICARDO LÓPEZ ROLDÁN
- NBR 8883
- TEMARIO HIDROSTÁTICA. MECÁNICA DE FLUIDOS.
- https://www.boschrexroth.com/ics/cat/content/assets/Online/do/LT_BASA_Calculation_Example_ES_20181009_130312.pdf
- <http://www.baiz.net/es/productos-producto-estandar/ejemplo-dimensionado-conjunto-husillo-tuerca>
- https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2182/course/section/2028/tema_3.3.pdf