



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

---

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE  
PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO  
(VALENCIA)

---

*Presentado por*

de Fuenmayor Icardo, Miguel Arturo

---

*Para la obtención del*

Grado en Ingeniería Civil

*Curso: 2019/2020*

*Fecha: Julio 2020*

*Tutor: Víctor Yepes Piqueras*

*Cotutor: Julián Alcalá González*

## RESUMEN:

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene por objetivo el diseño de una pasarela mixta peatonal y ciclista ubicada sobre la carretera CV-500 en Pinedo (Valencia).

El trabajo se ha desarrollado de la siguiente manera:

En primer lugar, se describen y predimensionan cuatro posibles alternativas al problema planteado, para posteriormente realizar un cálculo de cada una de las estructuras mediante el programa de elementos finitos SAP2000. Para cada una de las alternativas se introducen unas acciones, y en base a estas se obtienen unos desplazamientos y unos esfuerzos cuya validez se comprueba en base al marco normativo vigente.

La mejor alternativa, obtenida mediante un proceso analítico jerárquico (AHP), es una pasarela arco atirantado (*bowstring*), y a partir de aquí se describen los equipamientos principales que van a formar la estructura como son las barandillas, la imposta, la iluminación y el sistema de drenaje de pluviales.

Además, se lleva a cabo un cálculo geotécnico de las cimentaciones necesarias a realizar en base a un informe geológico-geotécnico de la zona de emplazamiento de la pasarela. En este se definen los diferentes estratos existentes en el terreno para finalizar recomendando la ejecución de un encepado de dos pilotes de hormigón armado perforados in situ cuya profundidad es de 11 metros por pilote.

## RESUM:

El present Treball de Fi de Grau té com a objectiu el disseny d'una passarel·la mixta de vianants i ciclistes situada sobre la carretera CV-500 en Pinedo (València).

El treball s'ha desenvolupat de la següent manera:

En primer lloc, es descriuen i es defineixen quatre possibles alternatives al problema plantejat, per a posteriorment realitzar un càlcul de cadascuna de les estructures mitjançant el programa d'elements finits SAP2000. Per a cadascuna de les alternatives s'introdueixen unes accions, i sobre la base d'aquestes s'obtenen uns desplaçaments i uns esforços la validesa dels quals es comprova sobre la base del marc normatiu vigent.

La millor alternativa, obtinguda mitjançant un procés analític jeràrquic (AHP) és una passarel·la d'arc atirantat (*bowstring*), i a partir d'ací es descriuen els equipaments principals que formaran l'estructura com són les baranes, la imposta, la il·luminació i el sistema de drenatge de pluvials.

A més, es duu a terme un càlcul geotècnic de les fonamentacions necessàries a realitzar sobre la base d'un informe geològic-geotècnic de la zona d'emplaçament de la passarel·la. En aquest es defineixen els diferents estrats existents en el terreny per a finalitzar recomanant l'execució d'un encep de dos pilons de formigó armat perforats in situ la profunditat del qual és de 11 metres per piló.





## ABSTRACT:

The following thesis aims to design a mixed pedestrian and cycling footbridge located on the CV-500 road in Pinedo (Valencia).

The work has been carried out as follows:

Firstly, four possible alternatives to the problem are described and pre-dimensioned, and then a calculation of each of the structures is carried out using the finite element software SAP2000. For each of the alternatives, actions are introduced, and based on these, displacements and stresses are obtained, whose validity is checked based on the current regulatory framework.

The best alternative, obtained using a hierarchical analytical process (AHP), is a tied-arch footbridge (*bowstring*), and then, it is described the main equipment which forms part of the structure such as the railings, the edge bridge, the lighting and the drain system.

In addition, a geotechnical calculation of the foundations is carried out based on a geological-geotechnical report of the area where the footbridge is located. In this, the different strata existing in the terrain are defined and then it is recommended the execution of a pile cap compound of two reinforced concrete drilled piles whose depth is 11 meters.

## RELACIÓN DE DOCUMENTOS

### Documento Nº 1: Memoria

Anejo Nº 1: Definición de las alternativas

Anejo Nº 2: Estudio geológico-geotécnico

Anejo Nº 3: Justificación resistente de las alternativas

Anejo Nº 4: Equipamientos

### Documento Nº 2: Relación Valorada

### Documento Nº 3: Planos

Plano Nº 1: Situación y emplazamiento

Plano Nº 2: Planta y alzado general proyecto base

Plano Nº 3: Alzado alternativa 1

Plano Nº 4: Alzado alternativa 2

Plano Nº 5: Alzado alternativa 3

Plano Nº 6: Alzado alternativa 4

Plano Nº 7: Sección transversal alternativa 1

Plano Nº 8: Sección transversal alternativa 2

Plano Nº 9: Sección transversal alternativa 3

Plano Nº 10: Sección transversal alternativa 4

Plano Nº 11: Planta alternativa 1

Plano Nº 12: Planta alternativa 2

Plano Nº 13: Planta alternativa 3

Plano Nº 14: Planta alternativa 4

Plano Nº 15: Tipología de pilas

Plano Nº 16: Perfilería alternativa 1

Plano Nº 17: Perfilería alternativa 2

Plano Nº 18: Perfilería alternativa 4

Plano Nº 19: Armado losa alternativa 3

Plano Nº 20: Armado losa alternativa 3

Plano Nº 21: Geometría solución final

Plano Nº 22: Escaleras margen oeste

Plano Nº 23: Escaleras margen este

Plano Nº 24: Equipamientos

---

## *DOCUMENTO N.º 1: MEMORIA*

---

PRESENTADO POR: MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: VÍCTOR YEPES PIQUERAS

COTUTOR: JULIÁN ALCALÁ GONZÁLEZ

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

1.	ANTECEDENTES .....	7
2.	OBJETO .....	7
3.	ALCANCE.....	8
4.	SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	8
5.	ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL .....	9
6.	NORMATIVA .....	10
7.	GEOLOGÍA Y GEOTECNIA .....	10
8.	PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.....	11
8.1.	ALTERNATIVAS PLANTEADAS.....	12
9.	JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE LAS ALTERNATIVAS .....	14
10.	SOLUCIÓN ADOPTADA.....	15
11.	EQUIPAMIENTOS .....	15
12.	RELACIÓN VALORADA DEL PROYECTO.....	16
13.	CONCLUSIÓN .....	17
14.	REFERENCIAS.....	18



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la pasarela a proyectar. (Fuente: Google Maps).	8
Figura 2. Pedanías de Pinedo y El Tremolar. (Fuente: Google Maps). .....	9
Figura 3. Carretera CV-500. (Fuente: imágenes de Google, 2019). .....	9
Figura 4. Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003). .....	10
Figura 5. Leyenda del Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003). .....	11
Figura 6. Vista general alternativa 1. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). .....	13
Figura 7. Vista general alternativa 2. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). .....	13
Figura 8. Vista general alternativa 4. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). .....	14
Figura 9. Vista general alternativa 3. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). .....	14
Figura 10. Presupuesto de producción y construcción del bowstring. (Fuente: Documento Nº 3: Relación valorada del presente TFG). .....	17
Figura 11. Presupuesto de mantenimiento y demolición del bowstring. (Fuente: Documento Nº 3: Relación valorada del presente TFG). .....	17
Figura 12. Presupuesto Base de Licitación de la pasarela a lo largo de 100 años. (Fuente: Documento Nº 3: Relación valorada del presente TFG). ..	17



## 1. ANTECEDENTES

En el presente apartado se establecen los antecedentes jurídicos que justifican la necesidad de la realización de este Trabajo Fin de Grado.

El Real Decreto 1393/2007 del 29 de octubre, a partir del cual se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, modificado por el RD 861/2010 dispone, con carácter general, “...establecen que todos los títulos oficiales concluirán con la elaboración y defensa de un Trabajo Fin de Grado (TFG) o Trabajo Fin de Máster (TFM), según el caso...”

La normativa de aplicación es la Normativa Marco de Trabajo fin de grado y fin de máster de la Universitat Politècnica de València, en la que se establece en el artículo 3 que “...los TFG deberán estar orientados a la aplicación y evaluación de competencias asociadas al título” y “consistirá en la realización de un trabajo o proyecto original en el que queden de manifiesto conocimientos, habilidades y competencias adquiridas por el estudiante a lo largo de sus estudios y, expresamente, las competencias asociadas a la materia TFG, tal y como se indique en la memoria de verificación”.

La evaluación del TFG se realizará mediante una defensa grupal del trabajo a través de una plataforma online, teniendo un tiempo máximo de 40 minutos y realizándose ante un tribunal formado por un Presidente, Secretario y Vocal de la Comisión Calificadora, los cuales pueden formular preguntas como mucho durante 15 minutos sobre el trabajo que se expone.

Este TFG ha sido elaborado en pareja por los alumnos Alberto García Cárcel y Miguel de Fuenmayor Icardo, para la obtención del Grado en Ingeniería Civil. Se titula “Predimensionamiento y justificación resistente de pasarela

sobre la carretera CV-500 en Pinedo (Valencia)”. El título fue solicitado en junio de 2020 y fue aprobado por la Comisión Académica de Título (CAT).

El tutor académico de este TFG es Víctor Yepes Piqueras, miembro del Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (DICPIC), y su cotutor es Julián Alcalá González, miembro del Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil (DICPIC).

Fue entregado y depositado en julio de 2020.

## 2. OBJETO

El objeto del presente Trabajo de Fin de Grado es la redacción de un proyecto básico para la construcción de una pasarela peatonal y ciclista que cruce la carretera CV-500, situada en Pinedo (Valencia), muy cerca de El Tremolar. La finalidad principal es la de diseñar y comprobar diferentes alternativas que satisfagan los requisitos establecidos por las normativas vigentes, demostrando así su viabilidad constructiva y estructural, para lo que se redactarán los documentos necesarios para su justificación.

El objetivo es la demolición y sustitución de la pasarela existente en la actualidad, tanto del tablero como de las rampas de acceso laterales, por lo que se presentan diferentes estructuras para la resolución del problema.



### 3. ALCANCE

El presente trabajo contiene todos los documentos relativos a un proyecto básico, quedando fuera del mismo aquellos trabajos que por falta de recursos por parte del alumno no pueden ser realizados, como es la topografía o el replanteo.

En este documento, en los siguientes anejos y en los planos se definen las distintas propuestas de pasarela planteadas, describiendo cada una de las secciones de los elementos que las forman tanto geométricamente como en lo relativo a los materiales que las componen.

En relación con el cálculo estructural de cada una de las alternativas y en el caso de las alternativas en acero, se realizan las comprobaciones de las secciones de todos los elementos en cuanto a Estado Límite Último (ELU) y la comprobación frente a la combinación de Estado Límite de deformaciones de las pasarelas. En el caso de la estructura de hormigón se define la disposición de las armaduras tanto en el piso como en las vigas longitudinales laterales.

Queda excluido de este Trabajo de Fin de Grado cualquier cálculo dinámico de las estructuras.

### 4. SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La pasarela a proyectar se encuentra situada sobre la carretera CV-500 en el núcleo urbano de Pinedo, muy cerca de El Tremolar. Por un lado, Pinedo es una de las pedanías más conocidas de la provincia de Valencia gracias a sus extensas playas y a su proximidad al centro de la ciudad. Se encuentra en el distrito de los Poblados del Sur, rodeada de huerta, arrozales y mar,

estando parte de su territorio incluido dentro del Parque Natural de la Albufera. Cuenta con aproximadamente 2.500 habitantes, viviendo la mayoría de estos en el núcleo principal. Por otro lado, al oeste de Pinedo se encuentra El Tremolar, pedanía de Alfafar y situada en la comarca de la Huerta Sur, en la provincia de Valencia. Al igual que Pinedo, se encuentra ubicado en uno de los humedales más importantes de la península ibérica, el Parque Natural de la Albufera, presentando por ello una elevada biodiversidad.

Por lo que respecta al clima de esta zona, nos encontramos con un clima mediterráneo suave, con una humedad promedio anual del 65% y con una temperatura media de 17,8 °C, con valores que oscilan entre 11,5 °C en enero y 25,5 °C en agosto. Las precipitaciones, que suelen ser de gran intensidad y concentradas en otoño, son de 454mm al año.



Figura 1. Localización de la pasarela a proyectar. (Fuente: Google Maps).





Figura 2. Pedanías de Pinedo y El Tremolar. (Fuente: Google Maps).



Figura 3. Carretera CV-500. (Fuente: imágenes de Google, 2019).

Separando ambas poblaciones se encuentra la carretera CV-500, también conocida como “Autopista del Saler”, siendo esta una carretera secundaria de la Comunidad Valenciana perteneciente a la Generalitat con una longitud total de 30 kilómetros que comunica la ciudad de Valencia con la población de Sueca. Es el eje vial que da acceso al Parque Natural de la Albufera y a las playas del sur de la ciudad como son la Playa de Pinedo, la Playa del Saler, la Playa de la Devesa y la Playa del Perellonet.

Además de estas dos poblaciones mencionadas, la pasarela se encuentra próxima a otras poblaciones como Benetúser, Sedaví o Masanasa, y al encontrarse ubicada muy próxima a la playa, es un lugar transitado por una gran cantidad de usuarios que se desplazan desde estas zonas en dirección al mar, especialmente en época de verano.

## 5. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

Para llevar a cabo la conexión entre Pinedo y El Tremolar, existe actualmente una pasarela peatonal que dispone de una rampa de acceso en cada lateral. Esta pasarela cuenta con dos metros y medio de anchura y barandillas de un metro y medio de altura. A pesar de ser una pasarela peatonal, es utilizada tanto por peatones como por ciclistas ya que es el único punto en el que es posible cruzar de una pedanía a otra, siendo un gran riesgo cruzar la carretera a nivel de esta. Como la anchura de esta pasarela no es suficiente para ser utilizada por ciclistas y peatones y ya que supone un riesgo elevado para ellos por falta de seguridad, se propone la redacción de un proyecto de una pasarela mixta para peatones y ciclistas que conecte Pinedo con El Tremolar y que garantice la seguridad de todos





sus usuarios y evitar que confluyan muchos ciclistas o peatones en un espacio tan reducido como el actual.

## 6. NORMATIVA

Para la realización del proyecto se ha utilizado la siguiente normativa y documentos:

- Instrucción Española de Acero Estructural (EAE). (2011).
- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11). (2012)
- Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08). (2011).
- Obras de paso de nueva construcción. (2000)
- Nota Técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera. (1995).
- Guía de cimentaciones en obras de carretera. (2009).
- Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02). (2009).
- Instrucción 5.2-IC. Drenaje superficial. (2016).
- Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07, 2008)

## 7. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

Se dispone de un estudio geotécnico de la zona circundante en la que está situada la pasarela actualmente, y con este es suficiente para la realización de este Trabajo Final de Grado, aunque en la realidad debería hacerse el estudio en la zona de implantación de la pasarela. En el anejo correspondiente se exponen los datos de este estudio.

Para confirmar que este estudio es válido para la localización de la pasarela, se ha utilizado la página IGME (Instituto Geológico y Minero de España)

para comprobar que se trata del mismo terreno. En la página 722 del mapa geológico de España (IGME) a escala 1:50.000 se detalla que la zona es estratificada y está compuesta por limos principalmente, como se define en el anejo geológico-geotécnico correspondiente.

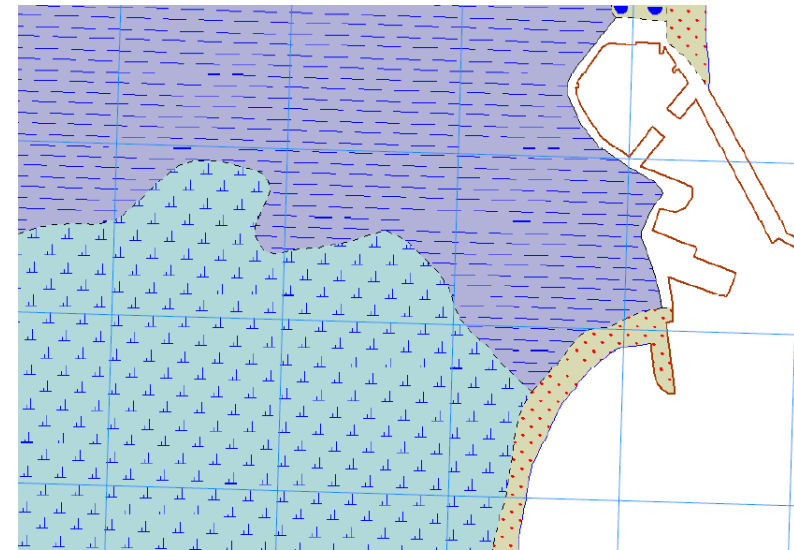


Figura 4. Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003).

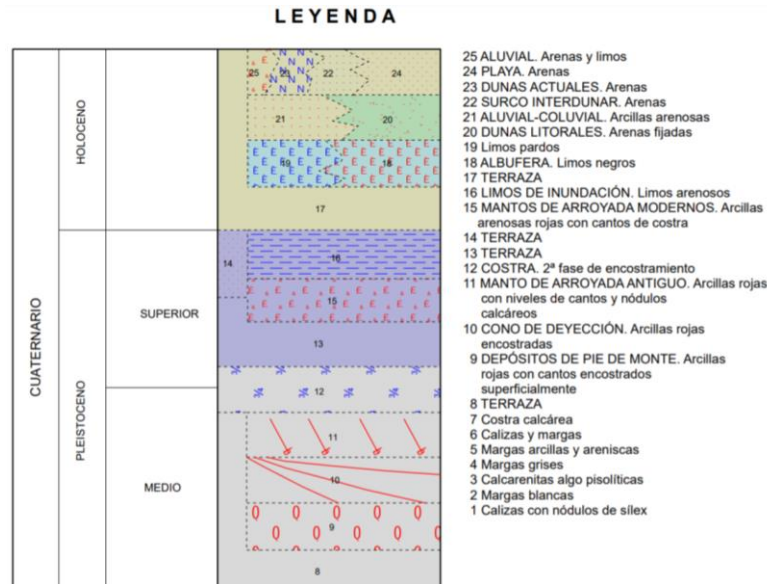


Figura 5. Leyenda del Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003).

En cuanto a la geología de la zona a estudiar, la pasarela está ubicada en una zona formada por depósitos mixtos continentales-marinos con dos formaciones principalmente: limos pardos y limos de inundación.

El terreno existente por debajo de la estructura se caracteriza en base a datos geológicos existentes anteriores y a una campaña de reconocimiento del terreno llevada a cabo mediante sondeos, calicatas, penetraciones dinámicas y ensayos de laboratorio, cuyos procedimientos se detallan en el *Anejo Nº 2: Estudio geológico-geotécnico*. A partir de todos estos ensayos se obtienen unos resultados que especifican que la estratigrafía del terreno estudiado está formada principalmente por cuatro estratos: 1) Rellenos

antrópicos. 2) Arcillas limosas de consistencia baja-media. 3) Arcillas limosas de consistencia media. 4) Arenas limosas.

Por lo que respecta al problema geotécnico, se estudia por un lado la disposición de una cimentación superficial y por otro lado las cimentaciones profundas mediante pilotes o micropilotes. En base a las características de la pasarela a proyectar y la naturaleza del terreno existente (consistencia baja-media en los niveles superiores del terreno y alta en los inferiores), se recomienda una cimentación profunda por medio de pilotes perforados de hormigón in situ.

Se calcula inicialmente el número de pilotes a disponer en el encepado para una longitud determinada, y posteriormente se comprueba que el encepado calculado cumple con las limitaciones de asiento. Este procedimiento se explica de forma más detallada en el anejo correspondiente.

## 8. PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

Para la pasarela que se desea proyectar se plantean diferentes tipologías en acero y hormigón, con el objetivo de obtener posteriormente la mejor de las soluciones. Estas diferentes alternativas se escogen en base a un análisis previo realizado de las diversas tipologías de pasarela posibles y más empleadas en la actualidad y a unos condicionantes descritos todos ellos en el anejo correspondiente y resumidos a continuación:



- Acciones naturales:

Se deben tener en cuenta acciones naturales como viento, lluvia o temperatura, no considerando acciones como el sismo o la nieve por su escasez a lo largo del año.

- Valor ambiental del entorno:

La zona de emplazamiento de la pasarela es considerada como de gran valor ambiental por su flora y fauna. Por ello resulta necesario llevar a cabo una estructura con las menores alteraciones del entorno posibles.

- Trazado:

Debido a las limitaciones de espacio existentes en los laterales de la pasarela, esta ha de ser necesariamente de tramo recto.

- Sección transversal:

El tablero debe albergar un carril destinado a peatones y otro a ciclistas para el uso de ambos con la mayor seguridad posible. Por esta razón, se dispone un tablero de 5 metros de anchura útil como mínimo.

- Gálibo vertical:

La distancia entre la parte inferior del tablero y la rasante de la carretera debe ser como mínimo y según se aconseja en la normativa "Obras de paso de nueva construcción (2000)", de 5 m.

- Constructivos:

Cabe la posibilidad de realizar la pasarela en dos tramos o en uno. En el primer caso, se dispone una pila intermedia en la zona de separación entre sentidos de circulación de la carretera. Es necesario considerar también el

tiempo de paralización del tráfico que supone la construcción de cada una de las alternativas.

Tras haber realizado este proceso de explicación de los condicionantes y una descripción de las distintas familias tipológicas de pasarela, se obtiene que resulta preciso llevar a cabo una solución cuyo elemento resistente principal se encuentre por encima del tablero, además de garantizar que la estética y adaptación al entorno de la estructura sea la idónea. Por ello, se mencionan a continuación las cuatro alternativas escogidas:

- Pasarela tipo *Warren* en arco.
- Pasarela tipo *Warren*.
- Pasarela de hormigón in situ.
- Pasarela tipo arco atirantado (*bowstring*).

## 8.1. ALTERNATIVAS PLANTEADAS

- Soluciones en acero.
  - Pasarela tipo *Warren* en arco:

La primera alternativa a estudiar se trata de una pasarela tipo *Warren* en arco de dos tramos. Cada uno de estos tramos consta de 20 m de longitud aproximadamente, y está compuesta por dos vigas longitudinales laterales de sección cuadrada hueca y de canto constante, un piso formado por un entramado de vigas longitudinales y transversales y dos arcos de sección circular y canto constante que están inclinados 10 grados respecto a un eje



vertical. Como medio de unión entre ambos arcos se disponen vigas de arriostramiento de sección circular.

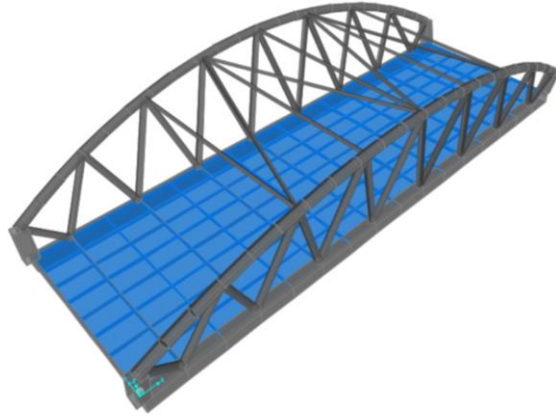


Figura 6. Vista general alternativa 1. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

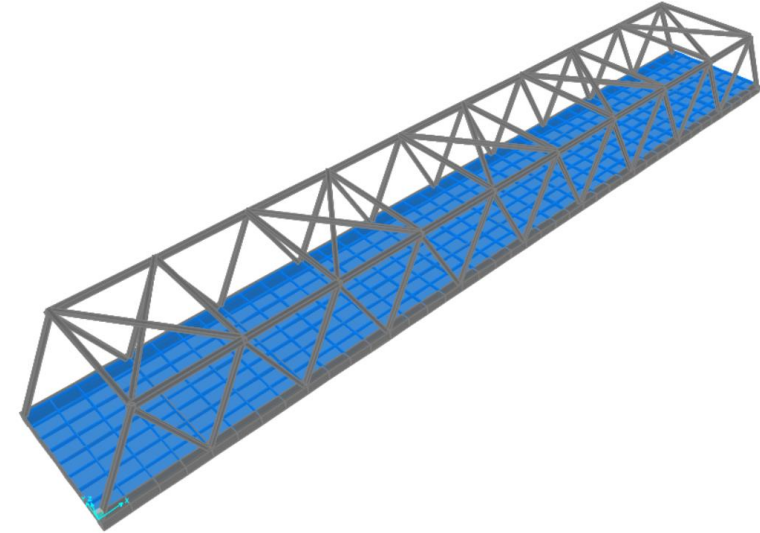


Figura 7. Vista general alternativa 2. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

- Pasarela tipo Warren:

La segunda alternativa planteada es una pasarela de 40 m de longitud aproximadamente, formada por dos vigas longitudinales laterales de sección cuadrada hueca y un piso de vigas longitudinales y transversales generando un entramado. Por encima del tablero y a cada lado de este se ubica un plano de vigas diagonales a lo largo de toda la longitud de la pasarela, estando estas vigas unidas a través de un cordón longitudinal superior. Ambos cordones superiores se unen entre sí a través de vigas de arriostramiento dispuestas cada 4 m en forma de "X".

- Pasarela arco atirantado (*bowstring*):

Esta alternativa es una pasarela arco de tablero inferior y consta de dos arcos laterales unidos entre sí mediante unas vigas de arriostramiento. A su vez, estos arcos se unen al tablero por medio de unos cables de acero Y-1860. La organización del piso es la misma que para el resto de las alternativas de acero. Estructuralmente, la particularidad de esta tipología es que el tablero trabaja a tracción ya que las fuerzas horizontales del arco son transmitidas a este en lugar de a las pilas.

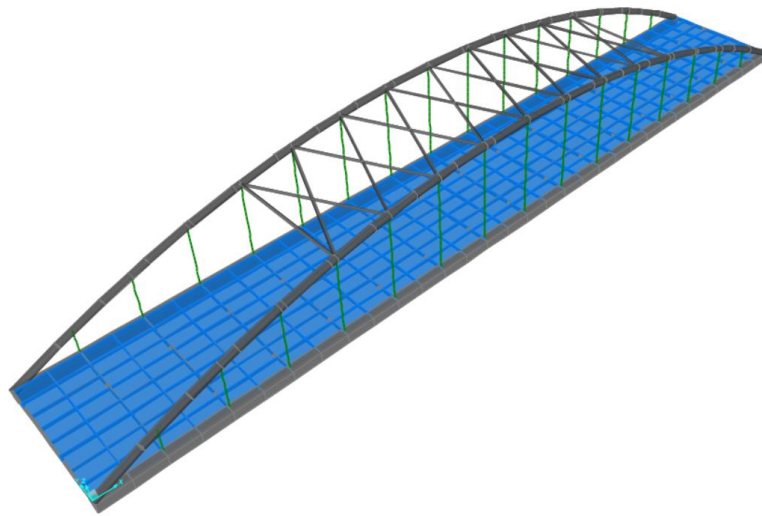


Figura 8. Vista general alternativa 4. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

- Solución en hormigón:
  - Pasarela de hormigón construida “in situ”:

La última alternativa planteada consta de dos tramos de 20 m cada uno, y posee un piso de hormigón armado con dos vigas laterales de hormigón. Estas vigas, para proporcionarle una mejor estética, se ejecutan con sección variable y con unos orificios situados a lo largo de toda la pasarela que están protegidos con una malla metálica para evitar cualquier tipo de accidente.

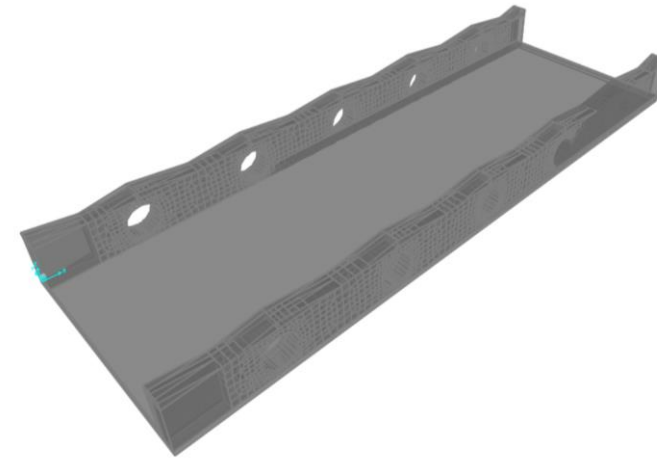


Figura 9. Vista general alternativa 3. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

En el *Anejo Nº 1: Definición de las alternativas* se definen cada una de las alternativas con mayor grado de detalle.

Los materiales empleados para cada una de las alternativas y las secciones transversales de estas se definen en el *Anejo Nº 3: Justificación resistente de las alternativas*.

## 9. JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE LAS ALTERNATIVAS

Para llevar a cabo la comprobación estructural de las alternativas, se ha realizado un modelo de elementos finitos mediante el programa



informático SAP2000, introduciendo cada uno de los elementos de las diferentes estructuras como se detalla en el *Anejo Nº 3: Justificación resistente de las alternativas*.

Tras haber escogido cuatro posibles alternativas de pasarela, se procede a calcular cada una de ellas estructuralmente, realizando un predimensionamiento para poder garantizar la viabilidad estructural de cada una de las posibles soluciones y llevar a cabo posteriormente la elección de una de ellas.

De esta forma, se comprueban cada una de las secciones de los elementos que componen las pasarelas. En primer lugar, se introducen unas cargas y unas combinaciones de acciones en el modelo de SAP2000 en base a normativa IAP-11 (2012). Las cargas a considerar son cargas muertas, sobrecarga de uso y viento, mientras que el peso propio es considerado directamente por el programa al introducir las características de los materiales y las dimensiones de las secciones. En cuanto a las combinaciones de acciones, se comprueban las relativas a estado límite último y estado límite de deformaciones. Posteriormente, se obtienen unos esfuerzos que se comprueban que sean menores que las resistencias de las secciones. En el caso de la alternativa en hormigón armado in situ, no se realiza esta comprobación estructural, sino que se calculan las armaduras mínimas y máximas necesarias en la pasarela para poder resistir todos los esfuerzos de cálculo, realizándose todo ello en base a la normativa vigente (EHE-08, 2011).

Además de llevar a cabo los cálculos estructurales, se comprueba el coeficiente de aprovechamiento de cada alternativa y se predimensionan los aparatos de apoyo de cada una de ellas.

## 10. SOLUCIÓN ADOPTADA

Una vez se realiza el predimensionamiento y justificación resistente de cada una de las alternativas se lleva a cabo la elección de la mejor de ellas realizando un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de cada alternativa para obtener los criterios que se emplean en un análisis multicriterio mediante un Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

El fundamento y desarrollo de este método se expone con detalle en el Trabajo de Fin de Grado de Alberto García Cárcel, obteniendo finalmente que la mejor alternativa es la cuarta, es decir, la pasarela tipo arco atirantado (*bowstring*).

## 11. EQUIPAMIENTOS

Se describen a continuación y de forma resumida las características generales de los equipamientos de la pasarela, desarrollándose con un mayor grado de detalle en el anejo pertinente para ello.

El sistema de evacuación de aguas está compuesto por dos líneas de caces en sentido longitudinal de la pasarela con una reja metálica por encima de estos. Cada uno de estos elementos recoge el agua que fluye en sentido transversal por el tablero y la dirige hasta unos sumideros ubicados en las zonas extremas e intermedia de este para expulsarla al terreno bajo tablero.

Por otro lado, la imposta es un elemento que sirve para alejar las pluviales del paramento vertical del tablero. Es prefabricada de hormigón armado y se ancla a las vigas longitudinales de borde de tablero mediante pernos.





El sistema de iluminación a disponer consiste en unas luminarias rasantes tipo LED colocadas cada 2,5 m en planta, al tresbolillo y en toda la longitud del tablero, para poder otorgar una iluminación mínima que permita el paso de usuarios en horas de poca luz natural.

En cuanto a las juntas de dilatación, se obtiene en primer lugar la variación térmica máxima para posteriormente conseguir el incremento de longitud máximo que se da en el tablero. Una vez extraída esta longitud, se decide disponer una junta tipo rótula plasto-elástica en cada extremo de la pasarela.

Las barandillas son elementos de protección fundamentales para garantizar la seguridad de todos los usuarios. Se decide disponer una barandilla de 1,5 m de altura y formada por montantes separados entre sí 2,5 m, 10 cables tensados horizontalmente que unen estos montantes y un pasamanos retranqueado hacia el interior del tablero para evitar accidentes.

Por último, el pavimento se separa en dos zonas. Por un lado, la parte correspondiente al paso de peatones y por otro, el carril destinado al uso ciclista. En el primer caso, se dispone un pavimento de resina epoxi de color grisáceo, mientras que para el carril bici se decide colocar un pavimento formado por una capa de slurry, pintado en este caso de color rojo. El pavimento de las rampas de acceso laterales se decide pintarlas de la misma forma que los pavimentos de la parte central de la pasarela.

## 12. RELACIÓN VALORADA DEL PROYECTO

En el último documento de este Trabajo de Fin de Grado se llevan a cabo los cálculos pertinentes para obtener el Presupuesto Base de Licitación durante el ciclo de vida de la pasarela (100 años) tipo arco atirantado (*bowstring*), teniendo en cuenta así tanto su construcción como su mantenimiento y demolición.

En el *Documento Nº 3: Relación valorada* se divide en capítulos. En este documento, se incluyen en primer lugar todas las mediciones pertinentes a cada unidad de obra, posteriormente se muestra una justificación de precios de cada una de ellas, y por último se incluye la relación valorada, conteniendo esta el coste total de cada capítulo y el de toda la obra.

Sumando los costes de producción, construcción, mantenimiento y demolición de la pasarela se obtiene el Presupuesto de Ejecución Material (PEM) de esta, al que posteriormente se le añaden los Gastos Generales (15% del PEM), el Beneficio Industrial (6% del PEM) y el IVA (21% del total), consiguiendo de esta manera el Presupuesto Base de Licitación (PBL) a lo largo de los 100 años de ciclo de vida de la pasarela y siendo este de NOVECIENTOS SETENTA Y CINCO MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y TRES EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS. (975.873,96 €). Se incluye a continuación un resumen de la relación valorada del proyecto y del cálculo del Presupuesto Base de Licitación (PBL) a lo largo de los 100 años de ciclo de vida de la pasarela proyectada:



Presupuesto de Producción y Construcción del Bowstring			
Código	Capítulo	Importe	%
01.	ACTUACIONES PREVIAS	25.316,30 €	3,80
02.	MOVIMIENTO DE TIERRAS	674,10 €	0,10
03.	EJECUCIÓN SUBESTRUCTURAS	168.225,49 €	25,24
04.	EJECUCIÓN SUPERESTRUCTURAS	207.173,94 €	31,08
05.	EQUIPAMIENTOS	125.729,94 €	18,86
<b>Presupuesto TOTAL de Producción y Construcción</b>		<b>527.119,77 €</b>	

Figura 10. Presupuesto de producción y construcción del bowstring.  
(Fuente: Documento Nº 3: Relación valorada del presente TFG).

Presupuesto de Mantenimiento y Demolición del Bowstring			
Código	Capítulo	Importe	%
06.	MANTENIMIENTO	36.412,59 €	5,46
07.	DEMOLICIÓN	103.002,69 €	15,45
<b>Presupuesto TOTAL de Mantenimiento y Construcción</b>		<b>139.415,28 €</b>	

Figura 11. Presupuesto de mantenimiento y demolición del bowstring.  
(Fuente: Documento Nº 3: Relación valorada del presente TFG).

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN 100 AÑOS	
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>666.535,05 €</b>
GASTOS GENERALES (15% del PEM)	99.980,26 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (6% del PEM)	39.992,10 €
<b>VALOR ESTIMADO</b>	<b>806.507,41 €</b>
IVA(21% del TOTAL)	169.366,56 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>975.873,96 €</b>

Figura 12. Presupuesto Base de Licitación de la pasarela a lo largo de 100 años. (Fuente: Documento Nº 3: Relación valorada del presente TFG).

### 13. CONCLUSIÓN

Una vez expuesto en este Memoria todo lo realizado en los documentos y anejos del presente Trabajo de Fin de Grado, se concluye que se cumplen con todos los objetivos y requisitos pertinentes para la ejecución del "Predimensionamiento y justificación resistente de pasarela sobre la carretera CV-500 en Pinedo (Valencia)" y se obtiene una estructura viable y estéticamente agradable para todos los usuarios.

En consecuencia, todos los documentos que conforman este Trabajo de Fin de Grado se someten a la aprobación del tribunal de la Comisión Calificadora para la obtención del Grado de Ingeniería Civil.

Firma: Miguel de Fuenmayor Icardo

Fecha: Julio 2020





## 14. REFERENCIAS

Google imágenes (2019). CARRETERA CV500 – Búsqueda de Google.

[https://www.google.com/search?q=CARRETERA+CV500&rlz=1C1CHBF\\_esES895ES895&sxsrf=ALeKk03\\_v1Q9VIOi6RXXKpQ1czcoT0r3TQ:1593592633274&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiko8qW06vqAhVgA2MBHfVDBnkQ\\_AUoAnoECBEQBA&biw=1536&bih=754#imgsrc=hPO1txOgUSiKM](https://www.google.com/search?q=CARRETERA+CV500&rlz=1C1CHBF_esES895ES895&sxsrf=ALeKk03_v1Q9VIOi6RXXKpQ1czcoT0r3TQ:1593592633274&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiko8qW06vqAhVgA2MBHfVDBnkQ_AUoAnoECBEQBA&biw=1536&bih=754#imgsrc=hPO1txOgUSiKM). Accedido el 1 de julio de 2020.

Portal de cartografía del Instituto Geológico y Minero de España, IGME (1972-2003): MAGNA 50. Mapa geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie).

<http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50.aspx?language=es>. Accedido el 27 de mayo de 2020.

---

## *ANEJO N.º 1: DEFINICIÓN DE LAS ALTERNATIVAS*

---

PRESENTADO POR: MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: VÍCTOR YEPES PIQUERAS

COTUTOR: JULIÁN ALCALÁ GONZÁLEZ

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

1. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO.....	5	9. DESCRIPCIÓN DE LAS PILAS .....	22
2. DATOS PREVIOS.....	5	10. CONCLUSIÓN.....	29
2.1. ESTADO ACTUAL.....	5	11. REFERENCIAS.....	30
3. CONDICIONANTES .....	6		
3.1. ACCIONES NATURALES .....	6		
3.2. VALOR AMBIENTAL DEL ENTORNO.....	6		
3.3. TRAZADO .....	7		
3.4. SECCIÓN TRANSVERSAL.....	7		
3.5. GÁLIBO VERTICAL .....	8		
3.6. CONSTRUCTIVOS .....	8		
3.7. INUNDABILIDAD .....	8		
4. PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS.....	10		
5. ESTADO DEL ARTE .....	12		
6. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	15		
6.1. TIPOLOGÍAS EN ACERO .....	15		
6.1.1. PASARELA TIPO WARREN EN ARCO .....	15		
6.1.2. PASARELA TIPO WARREN .....	17		
6.1.3. PASARELA TIPO ARCO ATIRANTADO ( <i>BOWSTRING</i> ) .....	18		
6.2. TIPOLOGÍA EN HORMIGÓN.....	20		
7. RAMPAS DE ACCESO LATERALES .....	21		
8. SECCIONES TRANSVERSALES .....	21		



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la pasarela a proyectar. (Fuente: Google Maps). 5	5
Figura 2. Pedanías de Pinedo y El Tremolar. (Fuente: Google Maps). ..... 5	5
Figura 3. Ubicación de la pasarela actual. (Fuente: Google Earth). ..... 7	7
Figura 4. Riesgo de inundación. (Fuente: PATRICOVA, 2015). ..... 9	9
Figura 5. Peligrosidad de inundación. (Fuente: PATRICOVA, 2015). ..... 9	9
Figura 6. Perspectiva general de la pasarela tipo Warren en arco. Dimensiones principales: 20 metros de largo, 5,86 metros de ancho. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 16	16
Figura 7. Pasarela tipo Warren en arco. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 17	17
Figura 8. Planta de la pasarela tipo Warren en arco. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 17	17
Figura 9. Perspectiva general de la pasarela tipo Warren. Dimensiones principales: 40 metros de largo, 5,86 metros de ancho. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 17	17
Figura 10. Pasarela tipo Warren. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 18	18
Figura 11. Planta pasarela tipo Warren. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 18	18
Figura 12. Perspectiva general de la pasarela tipo arco (bowstring). Dimensiones principales: 40 metros de largo, 5,86 metros de ancho. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 19	19
Figura 13. Pasarela tipo arco atirantado (bowstring). (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 19	19
Figura 14. Planta pasarela tipo arco atirantado (bowstring). (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 19	19
Figura 15. Perspectiva general de la pasarela de hormigón armado in situ. Dimensiones principales: 20 metros de largo, 5,86 metros de ancho. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). ..... 20	20

Figura 16. Pasarela de hormigón armado in situ. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). .....20	20
Figura 17. Planta pasarela de hormigón armado in situ. (Fuente: elaboración propia en SAP2000). .....21	21
Figura 18. Sección transversal tipo del tablero. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....22	22
Figura 19. Chapa grecada utilizada. (Fuente: catálogo comercial, 2016). ..22	22
Figura 20. Pila número 1. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....22	22
Figura 21. Pila número 2. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....23	23
Figura 22. Pila número 3. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....23	23
Figura 23. Pila número 4. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....23	23
Figura 24. Pila número 5. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....24	24
Figura 25. Diseño 3D de la alternativa 1: pasarela tipo Warren en arco. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....25	25
Figura 26. Diseño 3D de la alternativa 2: pasarela tipo Warren. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....26	26
Figura 27. Diseño 3D de la alternativa 3: pasarela de hormigón armado in situ. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....27	27
Figura 28. Diseño 3D de la alternativa 4: pasarela tipo arco atirantado (bowstring). (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....28	28

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Puente de las Norias (Logroño). (Fuente: Arenas&Asociados, 2008). .....13	13
Ilustración 2. Puente de la Alameda (Valencia). (Fuente: Google imágenes a, 2020). .....13	13
Ilustración 3. Puente de la Barqueta (Sevilla). (Fuente: Google imágenes b, 2015). .....14	14



Ilustración 4. Ejemplo de puente celosía tipo Warren. (Fuente: Google imágenes c, 2017). ..... 14

Ilustración 5. Ejemplo de puente celosía tipo Warren. (Fuente: Google imágenes d, 2020). ..... 15



## 1. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El objeto del presente documento es la presentación y definición de cuatro posibles alternativas que se han planteado para llevar a cabo este proyecto básico, definiendo cada una de ellas geométrica y estructuralmente. Se pretende desarrollar las diferentes propuestas de pasarela, definiendo la tipología de cada una de ellas, las secciones por las que está formada y las principales diferencias entre unas soluciones y otras.

Este estudio se centra en la definición de las diferentes alternativas y en ningún caso se tienen en cuenta el cálculo de las rampas de acceso lateral ya que estas se llevarán a cabo tal y como se establecen en el proyecto base proporcionado por los profesores.

## 2. DATOS PREVIOS

### 2.1. ESTADO ACTUAL

La pasarela que se desea proyectar está ubicada en Pinedo y muy próxima a El Tremolar, cruzando la carretera CV-500. Actualmente, existe una pasarela de uso peatonal de 2 m de anchura perteneciente a varias rutas ciclistas. Esta estructura no cumple las condiciones mínimas de pendiente en las rampas laterales de acceso ni con la seguridad adecuada para albergar en el mismo espacio tanto a ciclistas como a peatones, por lo que se demolerá para adaptarla a la circulación conjunta de estos dos. Se obtiene información acerca de esta estructura a través de documentos y planos otorgados por los profesores, y en estos planos existe un proyecto de realización de unas nuevas rampas de acceso que sustituyan a las ya existentes. Se muestra a continuación la ubicación de la pasarela a proyectar.



Figura 1. Localización de la pasarela a proyectar. (Fuente: Google Maps).

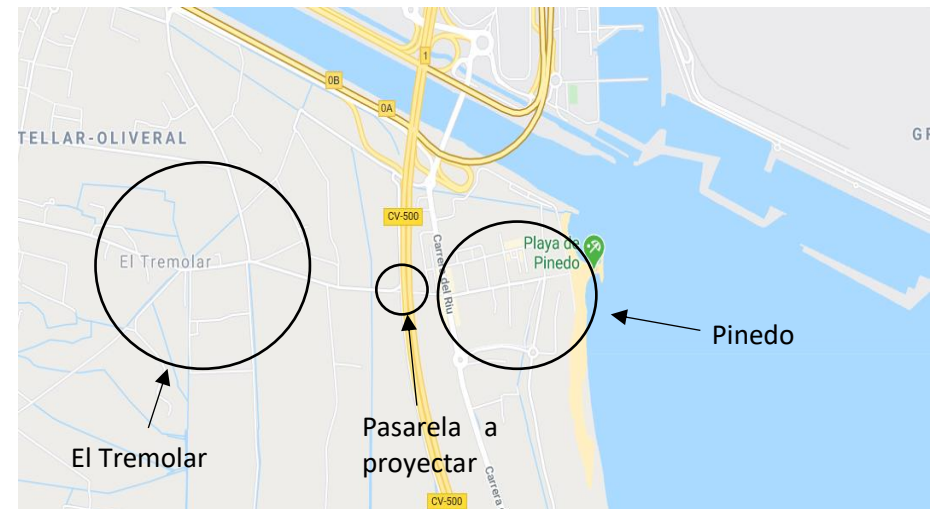


Figura 2. Pedanías de Pinedo y El Tremolar. (Fuente: Google Maps).



Las diferentes alternativas definidas se proyectan con el principal objetivo de demoler el actual paso superior para poder modificarlo completamente y enriquecer el entorno, con el fin de llevar a cabo una estructura que sea apreciable a una distancia considerable y que se convierta en un elemento icónico a recordar para todos aquellos vehículos que circulen por la carretera y todos los usuarios de la pasarela, ya sean peatones o ciclistas. Las rampas laterales de acceso de este nuevo paso superior se adaptan a la morfología de la solución final en base a las rampas de acceso del proyecto ya existente.

Por otra parte, cabe destacar que la gran mayoría de pasarelas ubicadas en esta carretera desde la ciudad de Valencia hasta Sueca son estructuras muy similares geométrica y estructuralmente, por lo que se quiere conseguir el diseño de una pasarela diferenciadora y de referencia de toda la zona sur de la provincia de Valencia.

Se realiza especial hincapié en que las diferentes alternativas a proyectar se diseñen con creatividad, ya que va a estar ubicada en una zona próxima a la ciudad de Valencia y será vista y utilizada por una gran cantidad de población.

### 3. CONDICIONANTES

Se describen a continuación diferentes condicionantes a tener en cuenta antes de llevar a cabo una definición de las alternativas.

#### 3.1. ACCIONES NATURALES

La estructura deberá soportar principalmente dos tipos de acciones naturales: acciones climáticas y acciones sísmicas.

Las acciones climáticas que debe soportar la pasarela son lluvia, viento, temperatura y en menor medida nieve, al encontrarse la pasarela en una zona con una cantidad de nieve anual prácticamente nula. Se diseñará con el objetivo de que se adapte a las variaciones de longitud debidas a la acción de la temperatura además de dotarle con la capacidad suficiente para evacuar de forma eficaz los pluviales.

Para llevar a cabo el siguiente proyecto no se considera la posible acción sísmica a la que pueda estar sometida la estructura a lo largo de su vida útil, solamente se considera en el cálculo de las cimentaciones de la estructuras.

#### 3.2. VALOR AMBIENTAL DEL ENTORNO

Pinedo es una zona de gran valor ambiental puesto que forma parte de una de las zonas más protegidas de la Comunidad Valencia, L'Albufera. Dicha zona está protegida bajo diferentes figuras normativas y cada una de estas tiene sus propias peculiaridades y exigen unos niveles de conservación distintos. Algunas de estas figuras normativas son las siguientes (Generalitat Valenciana, 2016):

- Lista de Humedales de Importancia Internacional RAMSAR. A nivel internacional.





- Lugar de Importancia Comunitaria (LIC según la directiva Hábitats). A nivel comunitario.
- Zona de Especial Protección de Aves (ZEPA según la directiva Aves). A nivel comunitario.
- Parque Natural. A nivel regional.

L'Albufera de Valencia también tiene una gran importancia en cuanto a la flora y fauna a proteger ya que, según datos del Servicio de Biodiversidad, más de 350 especies orníticas utilizan este ecosistema y de ellas, entre 240 y 250 son visitantes habituales cada año, y son unas 90 las que aquí se reproducen (Generalitat Valenciana, 2015).

Pinedo también cuenta con costa por lo que sus playas también están protegidas desde el 2014 por la norma "ISO 14001. Sistemas de Gestión Ambiental" cuyo objetivo es apoyar la protección ambiental y la prevención de la contaminación en equilibrio con las necesidades socioeconómicas (ISO 14001, 2015).

Pero eso no es todo, ya que a ambos márgenes de la carretera y próximo a la pasarela se ubican unos arrozales y propiedades privadas de elevado valor económico. Con todo ello, resulta necesario buscar una solución que modifique lo mínimo posible estas zonas colindantes y a la vez se pueda proteger el entorno de la pasarela.

Además del valor ambiental descrito anteriormente, la pasarela a construir se encuentra en una zona en la que una gran cantidad de usuarios deciden realizar rutas en bicicleta desde Valencia y poblaciones contiguas hasta la playa de Pinedo o hasta L'Albufera, por lo que es visitada por una gran cantidad de usuarios y se debe diseñar con un encaje en el entorno idóneo para ello.

### 3.3. TRAZADO

El trazado de la pasarela ha de ser necesariamente de tramo recto, ya que si se realizase una pasarela de planta curva no terminaría en la zona destinada para ella y podría afectar a los arrozales y propiedades anteriormente mencionadas. Por lo que respecta a la pendiente longitudinal de la pasarela, para poder asegurar el flujo de agua por los extremos del tablero hasta los puntos de desagüe, se dispone una pendiente del 1 %, garantizando así el cumplimiento de los caces de evacuación según se explica en el *Anejo N° 4: Equipamientos*.



Figura 3. Ubicación de la pasarela actual. (Fuente: Google Earth).

### 3.4. SECCIÓN TRANSVERSAL

Por lo que respecta a la sección transversal de la pasarela, es necesario que esta pueda albergar tanto a peatones como a ciclistas y que ambos hagan uso de esta con la máxima comodidad posible. Para ello se plantea una pasarela de 5 m de anchura útil como mínimo, donde 3 m se destinan al uso ciclista y 2 m al uso peatonal.





Se dispone una pendiente transversal del tablero que, por condiciones de drenaje de pluviales y comodidad de los usuarios, es del 2 % como máximo. En el caso del tramo peatonal, la pendiente transversal es del 2%, mientras que para el tramo destinado a las bicicletas es del 1,5%.

La sección transversal del tablero no puede ser una sección en cajón ya que se va a construir el tablero a la altura máxima que marcan las escaleras, por lo que si se realizase una sección en cajón existiría un desnivel entre las rampas y el tablero.

### 3.5. GÁLIBO VERTICAL

Otro condicionante importante es la distancia vertical entre la rasante de la carretera CV-500 y la parte inferior de la pasarela a construir. De acuerdo con la normativa Obras de paso de nueva construcción (Ministerio de Fomento, 2000), el gálibo vertical mínimo recomendable para pasarelas debe ser de 5 m, por lo que se debe tener en cuenta este condicionante a la hora de escoger la tipología de estructura a construir.

### 3.6. CONSTRUCTIVOS

En la zona en la que se va a construir la pasarela se dispone de espacio lateral suficiente para llevar a cabo las rampas laterales de acceso. Sin embargo, el hecho de la existencia de una carretera y la necesidad de mantener el tráfico mientras se construye, condiciona el tipo de proceso constructivo a llevar a cabo y la tipología de pasarela a construir para poder interrumpir el menor tiempo posible el tráfico rodado.

Por otro lado, cabe la posibilidad de construir la pasarela con pila intermedia o sin ella, existiendo espacio suficiente para su construcción si

fuese necesario. Además, para evitar tener que eliminar temporalmente parte de la calzada para la construcción de las cimentaciones, se decide que tanto las escaleras como las cimentaciones se desplacen 3 m cada una hacia el exterior para evitar así la interrupción del tráfico, con lo que la pasarela tiene una luz total superior a la estructura ya existente.

### 3.7. INUNDABILIDAD

Se procede a continuación a estudiar la posibilidad de que la zona en la que se sitúe la pasarela sea inundable a lo largo de su vida útil. Para ello se van a estudiar los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación de la zona mediante el plan de acción territorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA, 2015).

Por un lado, los mapas de peligrosidad de inundación tienen por objetivo establecer el alcance de una posible inundación mediante la delimitación territorial de la zona a estudiar. Esto se realiza para diferentes periodos de retorno y calados máximos alcanzados.

Por otro lado, los mapas de riesgo de inundación representan una estimación de los daños que una posible inundación pueden causar, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las zonas inundables y la población existente.

En el caso de que el riesgo de inundación de la zona fuese elevado sería necesario plantear un plan de gestión del riesgo de inundación y un estudio hidrológico mayor. En este caso y según la página 722 del PATRICOVA, el riesgo de inundación de la zona a estudiar es muy bajo y la peligrosidad de inundación es de nivel 6, es decir, de frecuencia baja (500 años) y con un calado bajo (<0,8m). Todo ello se puede observar en las figuras que a continuación se muestran.



Figura 4. Riesgo de inundación. (Fuente: PATRICOVA, 2015).

**Riesgo de Inundación (Daños/Superficie)**

- Muy Alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy Bajo



Figura 5. Peligrosidad de inundación. (Fuente: PATRICOVA, 2015).

**Peligrosidad de Inundación**

- Nivel 1: Frecuencia alta (25 años) y calado alto (>0.8 m)
- Nivel 2: Frecuencia media (100 años) y calado alto (>0.8 m)
- Nivel 3: Frecuencia alta (25 años) y calado bajo (<0.8 m)
- Nivel 4: Frecuencia media (100 años) y calado bajo (<0.8 m)
- Nivel 5: Frecuencia baja (500 años) y calado alto (>0.8 m)
- Nivel 6: Frecuencia baja (500 años) y calado bajo (<0.8 m)
- Peligrosidad Geomorfológica



## 4. PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta todos los condicionantes anteriormente expuestos, se procede a plantear diferentes tipologías estructurales, sus ventajas e inconvenientes y las principales diferencias entre unas y otras.

Cabe diferenciar en primer lugar los posibles materiales a emplear en la construcción de la pasarela.

Por un lado, las pasarelas metálicas son estructuras muy versátiles que permiten diseños de luces considerables y se pueden llegar a construir con gran rapidez. El principal inconveniente de este material es su precio elevado, además de la acción corrosiva a la que están sometidos por parte de agentes atmosféricos y por la proximidad al mar, con lo que su mantenimiento es elevado.

Por otro lado, las pasarelas de hormigón armado son estructuras caracterizadas por su rapidez en el montaje en el caso de escoger elementos prefabricados y el menor coste en mantenimiento que supondría ya que este material es más resistente a los agentes atmosféricos.

El último material propuesto para llevar a cabo la pasarela es la madera. Sin embargo, a pesar de su bajo coste de construcción, se rechaza realizar una alternativa de este material ya que es menos resistente y duradero que los dos anteriores por su sensibilidad a los agentes atmosféricos, comportando esta característica un mantenimiento elevado.

Se diferencian a continuación las tres principales tipologías constructivas:

- **Pasarelas tipo viga**

Es la forma más sencilla de construcción, al ser una tipología de pasarela que, si se prefabrican sus elementos, el tiempo de montaje y

su coste son reducidos. Está compuesta por vigas longitudinales horizontales que se apoyan en dos o más puntos y soportan cargas mediante su capacidad para resistir flexiones.

Como principal ventaja se puede destacar su simplicidad constructiva y coste bajo, mientras que el principal inconveniente de esta tipología es que en la gran mayoría de las ocasiones esta simplicidad constructiva provoca que la estructura no sea atractiva para los usuarios.

- **Pasarelas tipo arco**

Respecto a las pasarelas tipo arco, existen tres tipos de soluciones en función de la posición del tablero respecto al arco: pasarela tipo arco con tablero inferior, con tablero superior o con tablero intermedio. Las últimas dos opciones se descartan ya que el sistema resistente se encuentra por debajo del tablero, por lo que el gálibo vertical no es suficiente para llevarlas a cabo.

Los esfuerzos horizontales transmitidos por el arco requieren de un estribo o elemento de contención resistente. Sin embargo, este problema se puede solucionar mediante una pasarela tipo arco atirantado (*bowstring*), transmitiendo únicamente esfuerzos verticales a los apoyos mediante el funcionamiento de tirante a tracción del tablero.

- **Pasarelas de celosía**

Este tipo de pasarelas se caracterizan por ser constructivamente sencillas, pero económicamente no son las soluciones idóneas al necesitar una gran cantidad de material y soldadura. Además, su carácter industrial no hace que sea la mejor solución estéticamente.



#### ▪ Pasarelas atirantadas

Los elementos fundamentales de esta tipología son los tirantes, que son cables rectos que atirantan el tablero proporcionándole unos apoyos intermedios. Además de los tirantes se construyen unas torres, que son necesarias para llevar el anclaje de los tirantes a un punto elevado.

#### ▪ Pasarelas colgantes

La última tipología planteada consta de un tablero inferior soportado por unos tirantes ya sean verticales o inclinados que se unen a unos cables laterales que se anclan a un macizo a en los extremos de la estructura.

Para todos los casos propuestos se descartan aquellas posibles soluciones cuyos elementos resistentes se ubiquen por debajo del tablero por condiciones de gálibo, por lo que se descarta en primera instancia una pasarela tipo arco con tablero superior o una solución de pasarela con celosía bajo tablero. Además, en la definición del tablero de la estructura, se descarta un tablero tipo viga cajón, ya que se generaría un desnivel entre el final de las rampas y el inicio del propio tablero.

Se descartan las siguientes tipologías:

- **Pasarela atirantada y colgante:** se descarta por su complejidad constructiva, por el elevado coste que supondría y por la necesidad de parar el tráfico de vehículos durante un periodo largo de tiempo. Además, estas tipologías constructivas son adecuadas para salvar luces mucho mayores que la que se plantea en este trabajo.
- **Pasarela tipo viga inferior:** aunque sea la tipología más sencilla y barata en este caso como ya se ha dicho anteriormente se busca

una pasarela diferenciadora de las que ya se encuentran en la zona. Además, al ubicar las vigas en la parte inferior se debería aumentar la altura de la pasarela para cumplir con el gálibo.

- **Pasarela tipo arco con tablero superior:** se descarta porque al ubicar el arco en la parte inferior puede entorpecer en mayor medida con el paso de los vehículos y por la necesidad de parar el tráfico de vehículos durante un periodo largo de tiempo. Además, estas tipologías constructivas son adecuadas para salvar luces mucho mayores que la que se plantea en este trabajo.
- **Pasarela tipo arco con tablero intermedio:** se descarta porque esta tipología no está pensada para estas luces ni para esa altura de puente.

Se escogen las siguientes tipologías:

- **Pasarela tipo Warren en arco:** se escoge esta alternativa por su sencillez de construcción en obra sin interrupciones del tráfico, por su estética y por sus ventajas para el diseño con las herramientas que disponemos.
- **Pasarela tipo Warren:** aunque esta tipología tenga una estética industrial se escoge por la facilidad de colocación en obra sin interrupciones del tráfico y por sus ventajas para el diseño con las herramientas que disponemos.
- **Pasarela de hormigón armado con vigas superiores:** aunque esta tipología si necesite de la interrupción del tráfico se escoge por su estética y por sus ventajas para el diseño con las herramientas que disponemos.



- **Pasarela tipo arco atirantado (*bowstring*):** se escoge esta alternativa por su sencillez de construcción en obra sin interrupciones del tráfico, por su estética y por sus ventajas para el diseño con las herramientas que disponemos.

## 5. ESTADO DEL ARTE

Este apartado está destinado a la explicación de la historia y evolución de cada una de las tipologías de pasarela que se van a plantear en este anejo, diferenciando entre las pasarelas tipo *Warren* en arco, pasarelas tipo *Warren*, pasarelas de vigas de hormigón y pasarelas tipo *bowstring*. La información expuesta a continuación se ha obtenido en base a los siguientes artículos y documentos: Manterola, 1984. «Evolución de los puentes en la historia reciente» Informes de la Construcción.; Los puentes arco metálicos modernos. Marcos Jesús Pantaleón Prieto, Oscar Ramón Ramos Gutiérrez.; Puentes arco. Evolución y comprensión. Juan José Arenas de Pablo.; Revista de Obras Públicas (2015). Historia de los puentes arco.; Manterola, Javier, & Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid (2017). Historia de los puentes.; Salvador Monleón Cremades. Apuntes de ingeniería de puentes. Introducción a su historia y concepción.; Revista de Obras Públicas (2018). Juan José Arenas.

- **Pasarelas en arco**

Esta tipología de pasarela se define como un puente cuyos arcos extremos transmiten cargas tanto horizontales como verticales al terreno y pueden estar, para mejorar su estética, inclinados respecto a un plano vertical.

Inicialmente, estos puentes fueron construidos por los romanos mediante piedra. Este material era el idóneo para llevar a cabo este tipo de construcciones ya que es un material que trabaja bien a compresión, por lo

que el peso de las diferentes dovelas y la curvatura del arco eran los factores principales que otorgaba estabilidad a la estructura. Los romanos querían que las construcciones fuesen seguras y durables además de sencillas con un proceso racionalizado consiguiéndose esto por medio de la realización de todos los arcos de medio punto ( $f/L=1/2$ ) e idénticos. Las pilas de los puentes arco romanos eran muy robustas para poder garantizar la resistencia frente a los esfuerzos verticales, característica que fue desapareciendo mediante la imposición de pilas más esbeltas. Estas se construían por cuestiones estéticas, además de realizar un arco más rebajado que el de medio punto romano. Este cambio provocaba menos esfuerzos verticales y más horizontales, compensándose de unos arcos a otros e imponiendo un gran estribo en los laterales del puente.

Con la llegada de la Revolución Industrial se comenzaron a construir puentes metálicos de fundición, aunque las características resistentes de estos eran peores que las de los puentes de piedra. Conforme pasaron los años, los ingenieros se dieron cuenta de que era posible construir puentes de mayor luz a través de un nuevo material, el hierro forjado, que años después evolucionó hacia la construcción de puentes metálicos en acero. La construcción de puentes arco de hormigón armado comenzó en 1975 con la pasarela de Chazelet de Joseph Monier, evolucionando hacia técnicas de construcción más precisas como el puente Albert Louppe de Freyssinet y actualmente se emplean y desarrollan técnicas muy avanzadas para poder llevar a cabo estos puentes y poder salvar grandes luces.

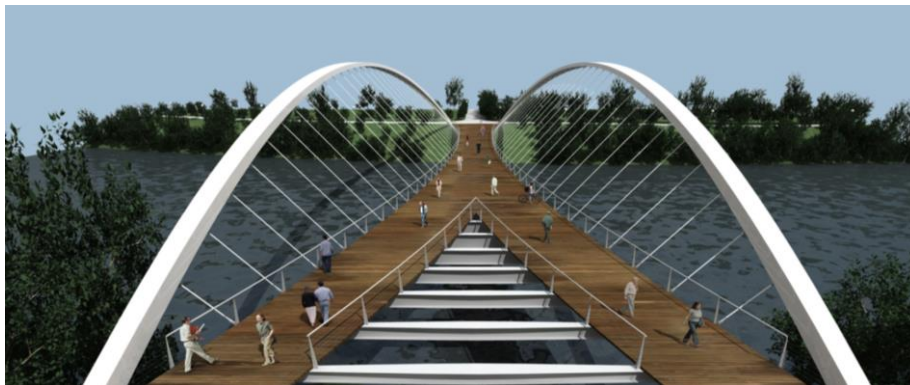
Cabe diferenciar las distintas tipologías actuales de puentes arco en relación con la posición del tablero respecto al arco. De esta forma, se pueden distinguir los puentes arco de tablero inferior, de tablero superior o de tablero intermedio. La elección de una u otra tipología viene dada además de por cuestiones estéticas y de gusto del proyectista, por cuestiones de orografía, ya que, en el caso en el que no haya suficiente gálibo por debajo del tablero será necesario disponer un puente arco de





tablero inferior mientras que, si la obra a proyectar se encuentra en una zona muy elevada como un valle o un barranco, se podrá llevar a cabo un puente arco de tablero superior o intermedio.

Hoy en día, la gran mayoría de puentes arco con tablero inferior se construyen con acero, y una característica distintiva entre unas y otras estructuras es el tipo de elementos que se colocan entre el arco y el tablero. Estos elementos trabajan a tracción, por lo que al tratarse de acero es posible disponer secciones pequeñas para que la mayor importancia de la estructura la tenga el elemento resistente principal, el arco. Dichos elementos pueden tener múltiples formas y disposiciones, como pueden ser péndolas rígidas, péndolas flexibles o cables. Estas péndolas y los arcos, como se ha comentado anteriormente, pueden estar inclinadas respecto de un plano vertical con el objetivo de dotar a la estructura de una estética mejor. En el caso que nos ocupa, las principales estructuras en las que se ha basado el diseño son la pasarela de las Norias en Logroño y el puente de la Alameda en Valencia:



*Ilustración 1. Puente de las Norias (Logroño). (Fuente: Arenas&Asociados, 2008).*



*Ilustración 2. Puente de la Alameda (Valencia). (Fuente: Google imágenes a, 2020).*

En una gran cantidad de casos, el arco transmite esfuerzos axiales de tracción al tablero, trabajando este como un tirante, por lo que el terreno o las pilas correspondientes se liberan de las cargas horizontales transmitidas por el arco. De esta forma y haciendo referencia ahora a la tipología de arco atirantado (*bowstring*), esta tipología no surge directamente de los puentes arco, sino de los puentes de celosía metálica ya que el arco no se apoya en el terreno y le transmite cargas a este, sino que lo hace en el tablero. El terreno, en este caso, solo recibe esfuerzos verticales.

Como ejemplo claro de puente tipo *bowstring* se destaca el puente de la Barqueta (Sevilla):



*Ilustración 3. Puente de la Barqueta (Sevilla). (Fuente: Google imágenes b, 2015).*

- **Pasarelas tipo Warren**

La celosía tipo *Warren* fue patentada en 1848 por James Warren y Willoughby Theobald Monzani y está formada por barras rectas de la misma longitud que trabajan tanto a tracción como a compresión.

Este tipo de estructuras suelen tener carácter industrial y se ha empleado en numerosas ocasiones como puentes de ferrocarril. Al consistir en una estructura cuyos elementos son idénticos en longitud, su construcción suele ser sencilla y rápida a pesar de la gran cantidad de uniones a realizar.



*Ilustración 4. Ejemplo de puente celosía tipo Warren. (Fuente: Google imágenes c, 2017).*

- **Pasarelas de vigas de hormigón armado**

Por lo que respecta a los puentes vigas de hormigón, históricamente se han construido dos tipologías diferentes: las de vigas laterales trianguladas por encima del tablero y las de vigas bajo tablero. En ambos casos, las vigas pueden ser de canto constante o variable. Lo más habitual es ver que estas construcciones se realizan por medio de vigas de hormigón armado bajo tablero, pero para mejorar la estética de la pasarela, la alternativa de hormigón armado se ha basado, aunque con otra geometría, en una





pasarela ubicada en París cuyas vigas laterales son trianguladas: el puente de la calle Lafayette (1928):



*Ilustración 5. Ejemplo de puente celosía tipo Warren. (Fuente: Google imágenes d, 2020).*

## 6. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La descripción de las diferentes alternativas propuestas se va a llevar a cabo diferenciando entre las propuestas tipológicas en acero y la propuesta tipológica en hormigón.

Para todas estas alternativas el ancho útil del tablero debe ser de 5 m como mínimo para dar suficiente espacio a la coexistencia de un carril bici de 3 m de anchura y un paso peatonal de otros 2 m útiles. La longitud total de la pasarela ya sea en un tramo o en dos, será de aproximadamente 40 m. La zona peatonal y el carril destinado a las bicicletas quedan diferenciados por

un elemento longitudinal de hormigón prefabricado ubicado en el piso para evitar así posibles accidentes, además de que cada una de estas zonas estará pintada con un color diferente.

### 6.1. TIPOLOGÍAS EN ACERO

Por lo que respecta a las alternativas en acero propuestas, se plantean tres opciones: una pasarela tipo *Warren* en arco, una pasarela tipo *Warren* y una pasarela tipo arco atirantado (*bowstring*).

Para todas las alternativas propuestas en acero se coloca, por encima del entramado que forma el piso, una chapa metálica no colaborante de 44 mm y una capa de hormigón con un mallazo metálico con un espesor total de 12 cm.

En todas estas alternativas, al estar ubicadas muy próximas al mar, se aplica pintura antioxidante para evitar la pérdida de durabilidad por oxidación.

#### 6.1.1. PASARELA TIPO WARREN EN ARCO

La primera alternativa que se plantea en acero es una pasarela tipo *Warren* en arco con tablero inferior que consta de dos tramos separados entre sí por dos pilas intermedias ubicadas entre los dos sentidos de circulación de la carretera CV-500.

En cada uno de estos tramos, los arcos son de sección circular constante y tienen una longitud en planta aproximada de 20 m. Están inclinados 10° grados respecto a un plano vertical y, para conectar ambos arcos, se disponen vigas de arriostramiento de sección circular. La unión entre cada



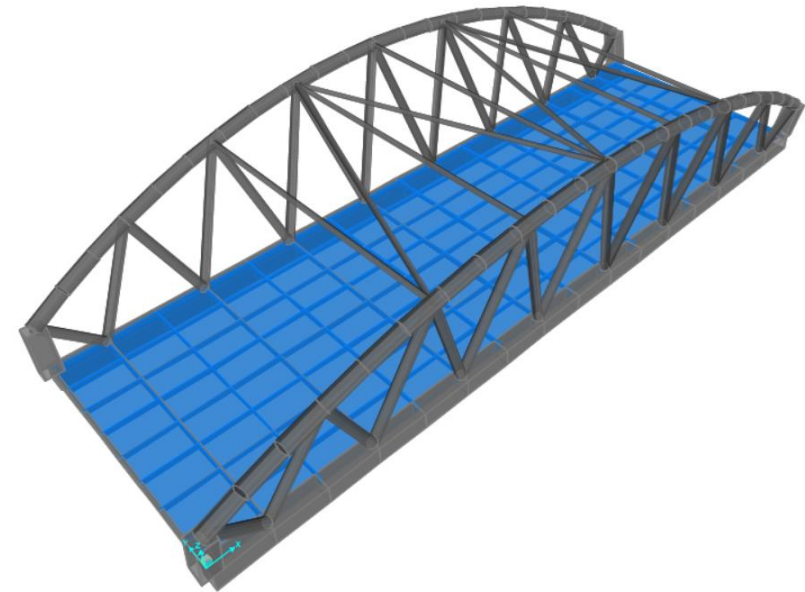


uno de los arcos y el tablero se materializa a través de unas péndolas rígidas inclinadas de sección circular hueca.

El tablero está formado por dos vigas longitudinales laterales, siendo estas de sección cuadrada hueca. El piso está formado por tres vigas longitudinales separadas 1,465 m entre sí y por un conjunto de vigas transversales con una separación entre ellas de 1,2 m, formando así un entramado. Todas estas vigas que forman el piso del tablero de la pasarela son vigas T80 y la separación entre ellas está modulada de tal forma que coincidan con el final de las péndolas que se unen al tablero.

La unión entre los arcos y el tablero se realiza a través de una viga de apoyo de sección cuadrada ligeramente superior en tamaño a los arcos para que pueda transmitir correctamente las cargas de los arcos al tablero. Estas vigas de apoyo se encuentran también inclinadas  $10^\circ$  respecto a la vertical, estando así los arcos, las péndolas y las vigas de apoyo en un mismo plano.

La altura total de los arcos de 3,6 m y la anchura útil del tablero es de aproximadamente 5,50 m. Para llevar a cabo las barandillas de esta pasarela se propone colocar una malla metálica entre los espacios de las péndolas para dar seguridad y evitar todo tipo de accidentes, además de una barandilla con una altura de 1,5 m.



*Figura 6. Perspectiva general de la pasarela tipo Warren en arco.  
Dimensiones principales: 20 metros de largo, 5,86 metros de ancho.  
(Fuente: elaboración propia en SAP2000).*

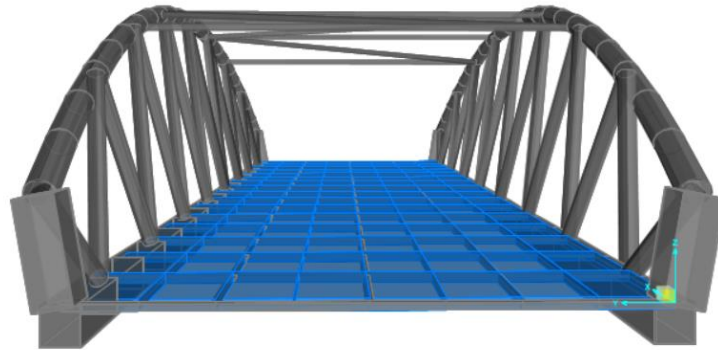


Figura 7. Pasarela tipo Warren en arco. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

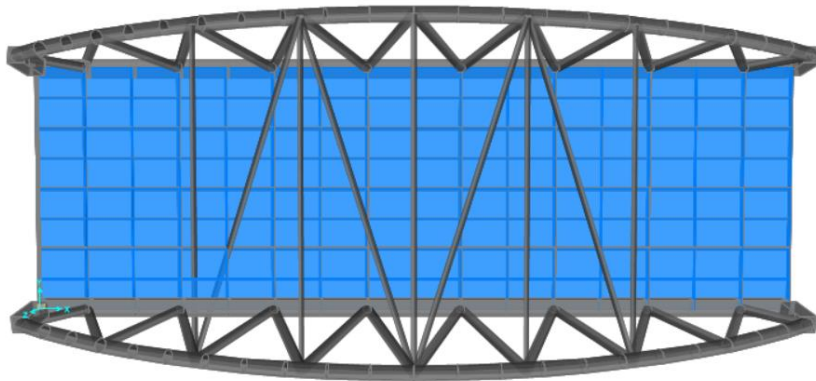


Figura 8. Planta de la pasarela tipo Warren en arco. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

### 6.1.2. PASARELA TIPO WARREN

La segunda alternativa de pasarela planteada es de tipo *Warren*, con un único tramo de 40 m de longitud y formada por una celosía lateral a cada lado del tablero. Cada una de estas celosías está compuesta por unas diagonales con una separación de 4 m entre ellas y por un cordón longitudinal superior que une todas las diagonales. Las celosías se unen entre sí a través de unas vigas de arriostamiento formando una "X" dispuestas cada 4 m en planta. Las secciones tanto de los cordones superiores como de las vigas de arriostamiento y las diagonales son cuadradas huecas.

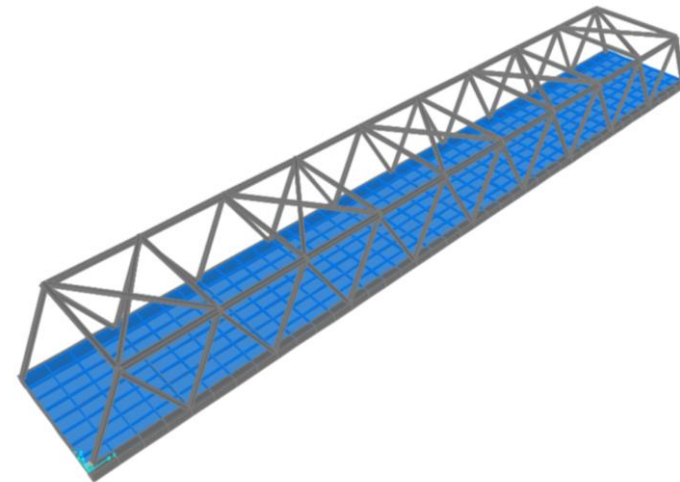


Figura 9. Perspectiva general de la pasarela tipo Warren. Dimensiones principales: 40 metros de largo, 5,86 metros de ancho. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

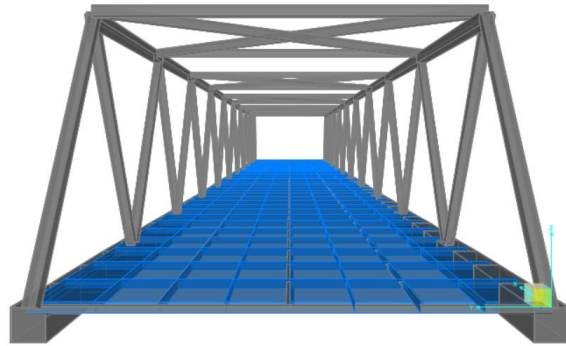


Figura 10. Pasarela tipo Warren. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

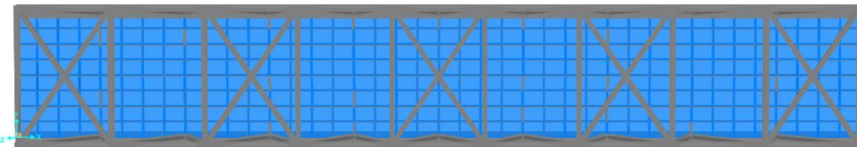


Figura 11. Planta pasarela tipo Warren. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

El tablero, al igual que en la primera alternativa, está formado por una viga longitudinal de sección cuadrada en cada lateral, y el piso por un entramado de vigas longitudinales y transversales T80 y por encima de estas, un piso formado por una chapa grecada no colaborante, hormigón y mallazo. Las vigas longitudinales están separadas unas de otras de la misma forma que la alternativa 1 y en el caso de las vigas transversales, la

separación está modulada de forma que haya una viga transversal cada vez que llega al tablero una de las diagonales de la celosía.

### 6.1.3. PASARELA TIPO ARCO ATIRANTADO (*BOWSTRING*)

La última pasarela en acero planteada es de tipo arco atirantado, con la peculiaridad de que en esta tipología las fuerzas horizontales del arco son transmitidas al tablero, que trabaja a tracción y se evita así la transmisión de tensiones horizontales a las pilas.

Esta pasarela, de un único tramo y 40 m de longitud total, posee en alzado dos planos de arcos de sección circular constante, uno a cada lateral del tablero, y uniendo cada arco con el tablero se disponen cables de acero para pretensar Y-1860 S7. Cada cable está formado por 7 alambres de 5 mm de diámetro cada uno y están separados uno de otro 2,5 m.

El tablero está formado, como en los casos anteriores, por una viga longitudinal en cada lateral y el piso, por un entramado de vigas T80 longitudinales y transversales. A diferencia de las tres otras alternativas y por motivos de resistencia y aprovechamiento del material, se dispone una viga transversal IPEAA100 en cada extremo del tablero en vez de una viga T80, ya que el área tributaria de estas vigas extremas respecto a las vigas intermedias se reduce a la mitad y, en este caso, las tensiones son mayores en esta zona del tablero.

Cada una de las vigas transversales que forman el tablero están separadas entre sí con una modulación de 2,5 m, coincidiendo cada una de estas vigas con la llegada de los cables al tablero.



Los arcos, para evitar que se produzcan grandes desplazamientos horizontales, están conectados por su parte superior a través de vigas de arriostramiento de sección circular, alcanzando una altura máxima de 5 m.

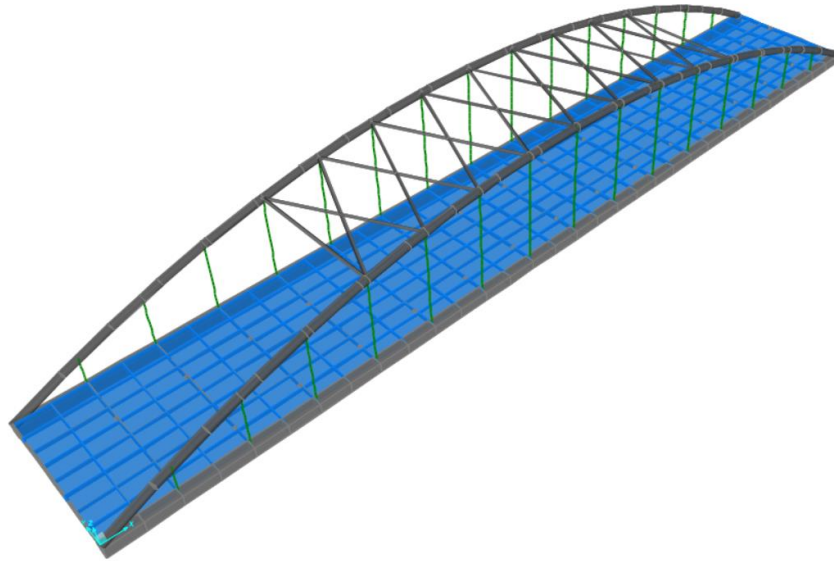


Figura 12. Perspectiva general de la pasarela tipo arco (bowstring). Dimensiones principales: 40 metros de largo, 5,86 metros de ancho. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

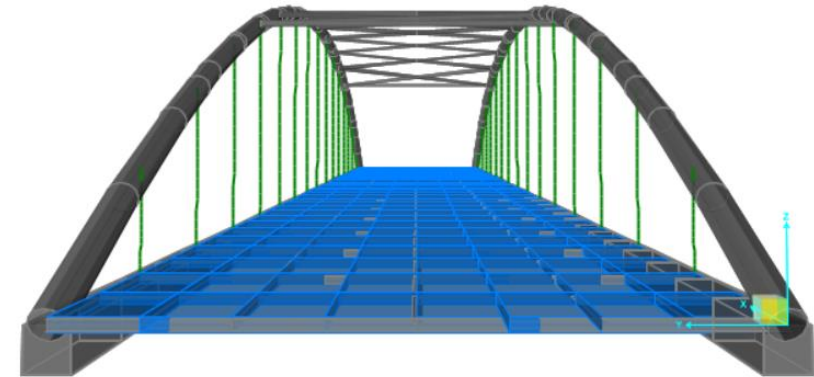


Figura 13. Pasarela tipo arco atirantado (bowstring). (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

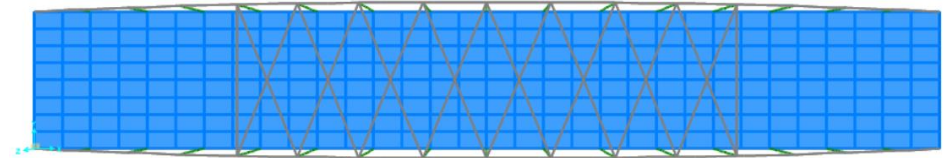


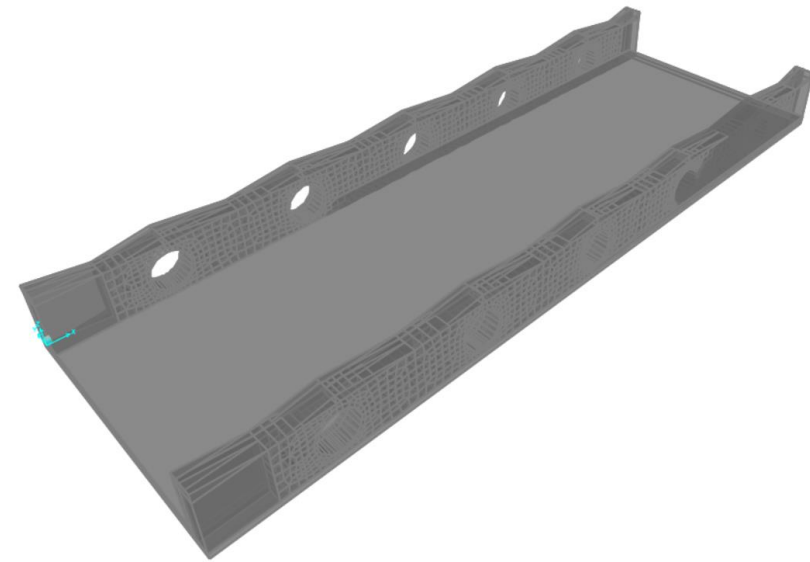
Figura 14. Planta pasarela tipo arco atirantado (bowstring). (Fuente: elaboración propia en SAP2000).



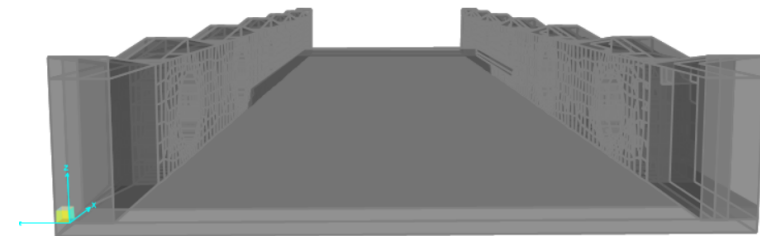
## 6.2. TIPOLOGÍA EN HORMIGÓN

Además de plantear diferentes alternativas de pasarela en acero, se realiza también una pasarela en hormigón. Esta pasarela es de 40 m en planta en total, pero está separada en dos tramos iguales por dos pilas intermedias.

Es de hormigón armado, y está compuesta por dos vigas longitudinales laterales de canto variable para darle una mejor estética a la solución planteada. Cada una de estas vigas tiene en su parte superior una ondulación que se puede observar a lo largo de toda la pasarela. Por otro lado, las vigas se diseñan con unos orificios de 1 m de diámetro para acompañar a las ondulaciones antes descritas, de manera que, en el momento en el que la ondulación llega a su punto máximo, hay un orificio por debajo de él. Para evitar accidentes por la existencia de estos orificios de diámetro elevado, se plantea colocar una malla metálica.



*Figura 15. Perspectiva general de la pasarela de hormigón armado in situ.  
Dimensiones principales: 20 metros de largo, 5,86 metros de ancho.  
(Fuente: elaboración propia en SAP2000).*



*Figura 16. Pasarela de hormigón armado in situ. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).*



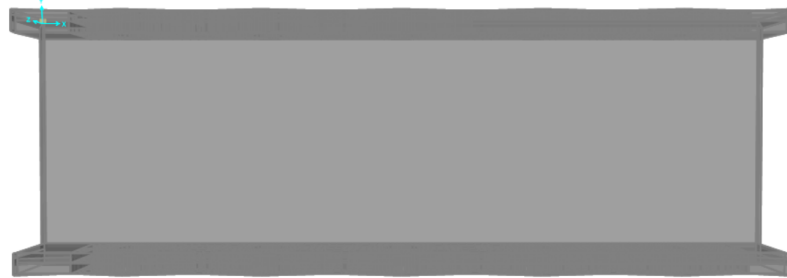


Figura 17. Planta pasarela de hormigón armado in situ. (Fuente: elaboración propia en SAP2000).

De aquí en adelante se va a seguir la siguiente nomenclatura de las diferentes alternativas:

**Pasarela tipo Warren en arco: Alternativa 1.**

**Pasarela tipo Warren: Alternativa 2.**

**Pasarela de hormigón in situ: Alternativa 3.**

**Pasarela tipo arco atirantado (*bowstring*): Alternativa 4.**

## 7. RAMPAS DE ACCESO LATERALES

Las rampas de acceso laterales a la pasarela deben ser elementos que garanticen una cómoda y sencilla transición entre la parte inferior y

superior de la pasarela tanto para peatones como para ciclistas, realizándose de la misma forma para cada una de las alternativas.

Están formadas por un conjunto de placas alveolares de hormigón prefabricado definidas en los planos correspondientes y unidas entre sí por medio de unas zonas de descanso intermedias. Se colocan las mismas rampas que las definidas en el proyecto base, cumpliendo así con las pendientes máximas a disponer. Únicamente se realizan modificaciones en el aspecto estético, cambiando los soportes que sujetan las zonas de descanso y variando las barandillas para adecuarlas a la estética de la zona central de la pasarela.

En cuanto a la pendiente transversal de las rampas de acceso, según la Orden de 9 de junio de 2004 que desarrolla el Decreto 39/2004, estas deben ser como máximo del 1,5 %, diseñándose con esta pendiente transversal. Además, esta Orden también define que el ancho mínimo de las rampas debe ser de 1,80 m, superándose de forma considerable al haber definido las rampas con una anchura de 5,86 m. La pendiente longitudinal de las rampas debe ser, como mínimo, del 6 %, siendo en el caso que nos ocupa de 6,25 %, cumpliendo por lo tanto con la normativa.

En ningún caso se lleva a cabo el cálculo estructural de las rampas al no ser el objetivo de este proyecto.

## 8. SECCIONES TRANSVERSALES

En las diferentes alternativas planteadas en este documento, se diferencian dos tipos de sección transversal, diferenciando entre las estructuras de acero y la de hormigón.



Como se ha mencionado anteriormente, el tablero de las pasarelas en acero están compuestos por dos vigas longitudinales laterales de sección cuadrada hueca. El piso está compuesto por un entramado de vigas longitudinales y transversales, y por encima de estas, una chapa grecada acompañada de hormigón y un armaduras de reparto.

Se muestra a continuación una sección transversal tipo para estas alternativas además de la chapa grecada empleada:

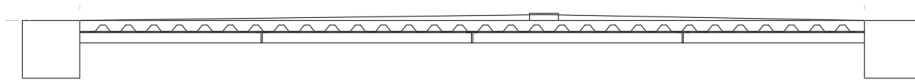


Figura 18. Sección transversal tipo del tablero. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).

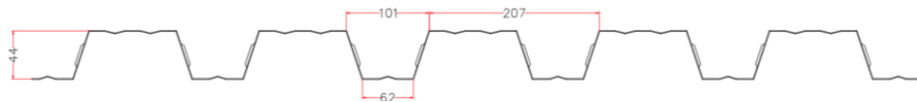


Figura 19. Chapa grecada utilizada. (Fuente: catálogo comercial, 2016).

Por lo que respecta a la alternativa en hormigón planteada, el piso no está compuesto por vigas ni por chapa grecada, sino que se forma a partir del propio hormigón y las armaduras que se estudian en el documento correspondiente.

## 9. DESCRIPCIÓN DE LAS PILAS

El proyecto base de la pasarela incluye unas pilas de martillo sencillas, pero como se ha comentado anteriormente, uno de los principales objetivos de la realización de esta pasarela es conseguir una solución para el uso y disfrute de sus usuarios, por lo que se plantean diferentes tipos de pilas de hormigón armado más estéticas que sean acordes a la pasarela a construir.

En primer lugar, se plantea una diferencia clave. Esta consiste en si se construyen las pilas en paralelo al tráfico o en perpendicular. En el primer caso, se idean las tres siguientes tipologías:

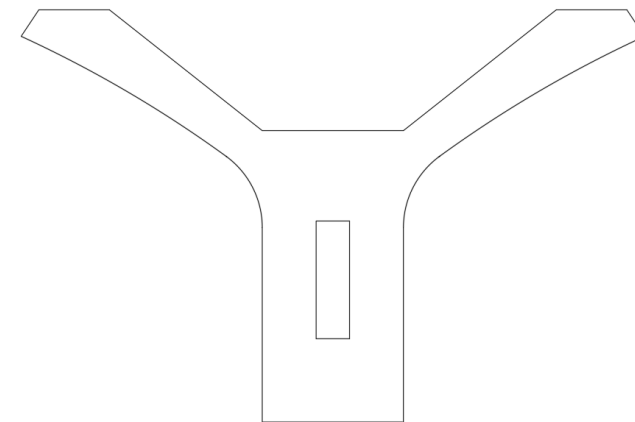


Figura 20. Pila número 1. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).



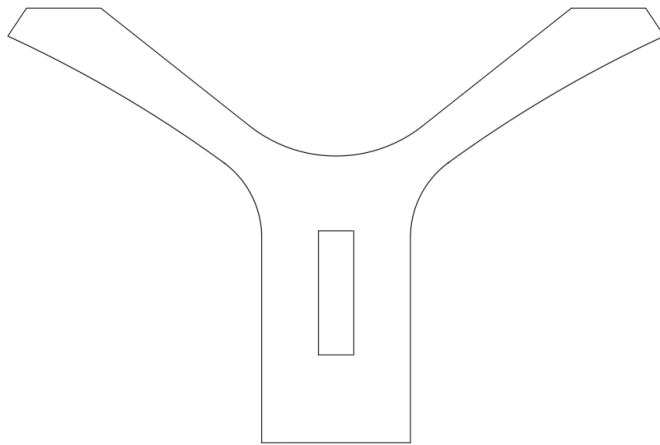


Figura 21. Pila número 2. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).

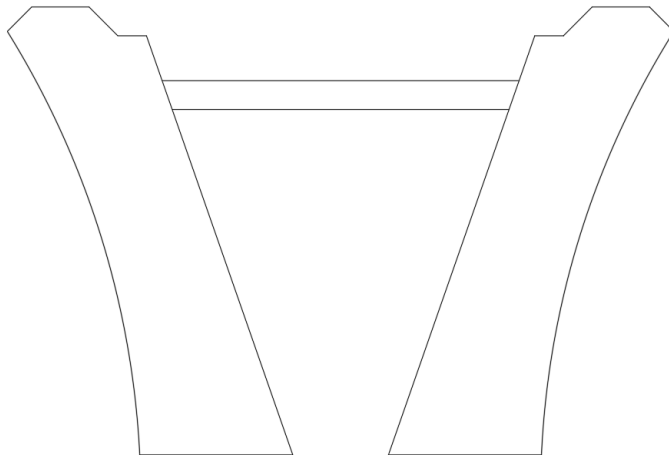


Figura 22. Pila número 3. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).

Para el segundo caso, se exponen los dos siguientes diseños de pilas:

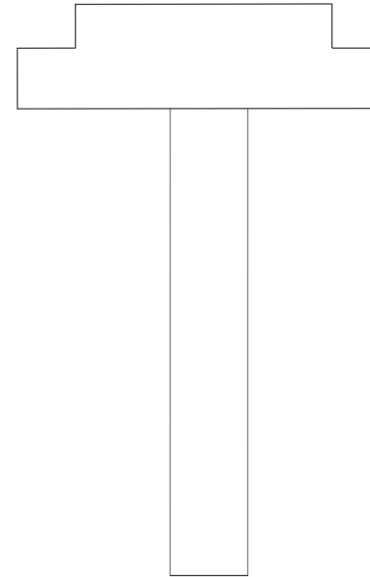
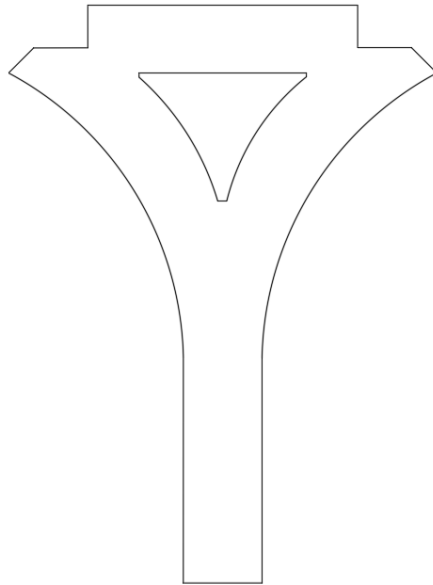


Figura 23. Pila número 4. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).



Tras haber analizado las dos posibles opciones, se escoge una pila que esté ubicada en perpendicular al tráfico ya que si se escogiese la otra opción daría una sensación de acumulación de mucho material en muy poco espacio.

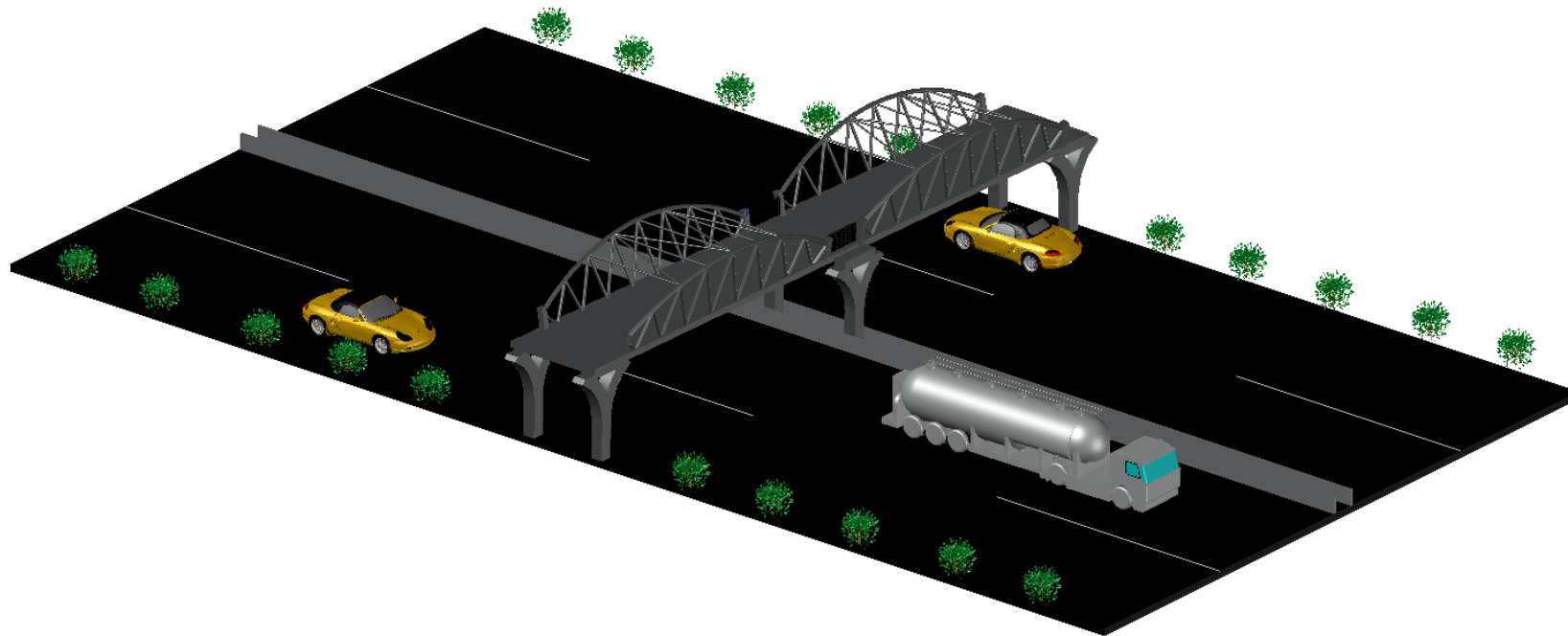
Para la alternativa 1 y la alternativa 4 se escoge la pila número 5 ya que se cree más acorde a estas tipologías, mientras que para las alternativas 2 y 3 se escoge la pila ya existente en el proyecto base (pila número 4).

*Figura 24. Pila número 5. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).*



Para una mejor comprensión de la geometría y tipología de cada una de las alternativas, se presentan a continuación cuatro imágenes en tres dimensiones que representan a cada una de las pasarelas planteadas:

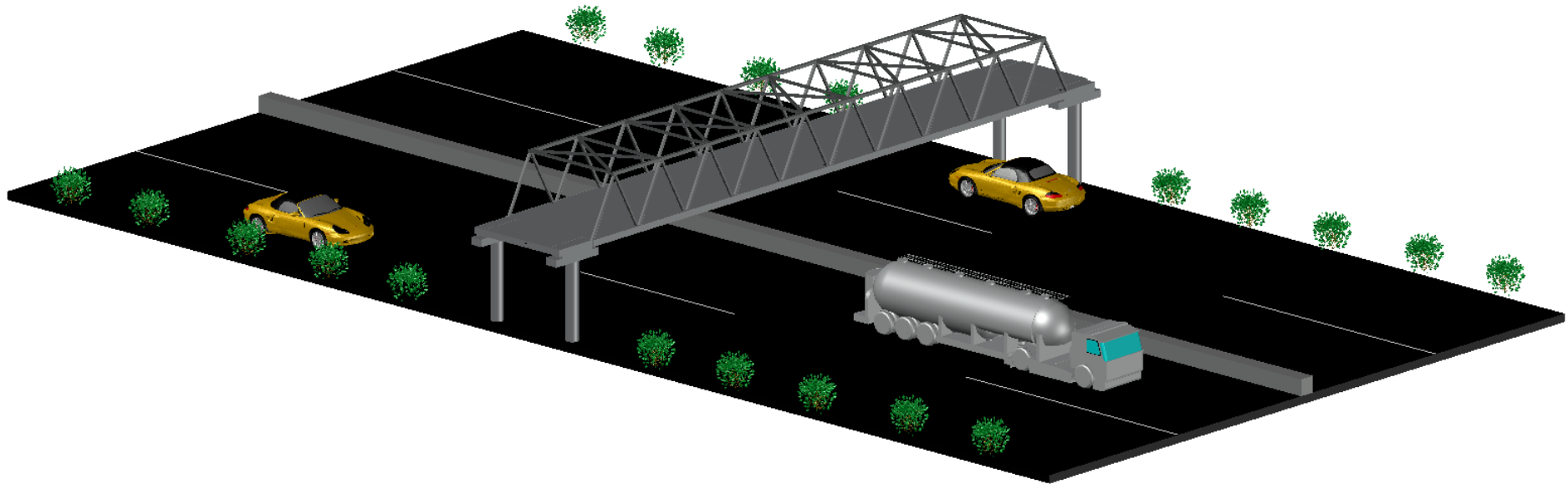
### ALTERNATIVA 1: PASARELA TIPO WARREN EN ARCO



*Figura 25. Diseño 3D de la alternativa 1: pasarela tipo Warren en arco. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).*



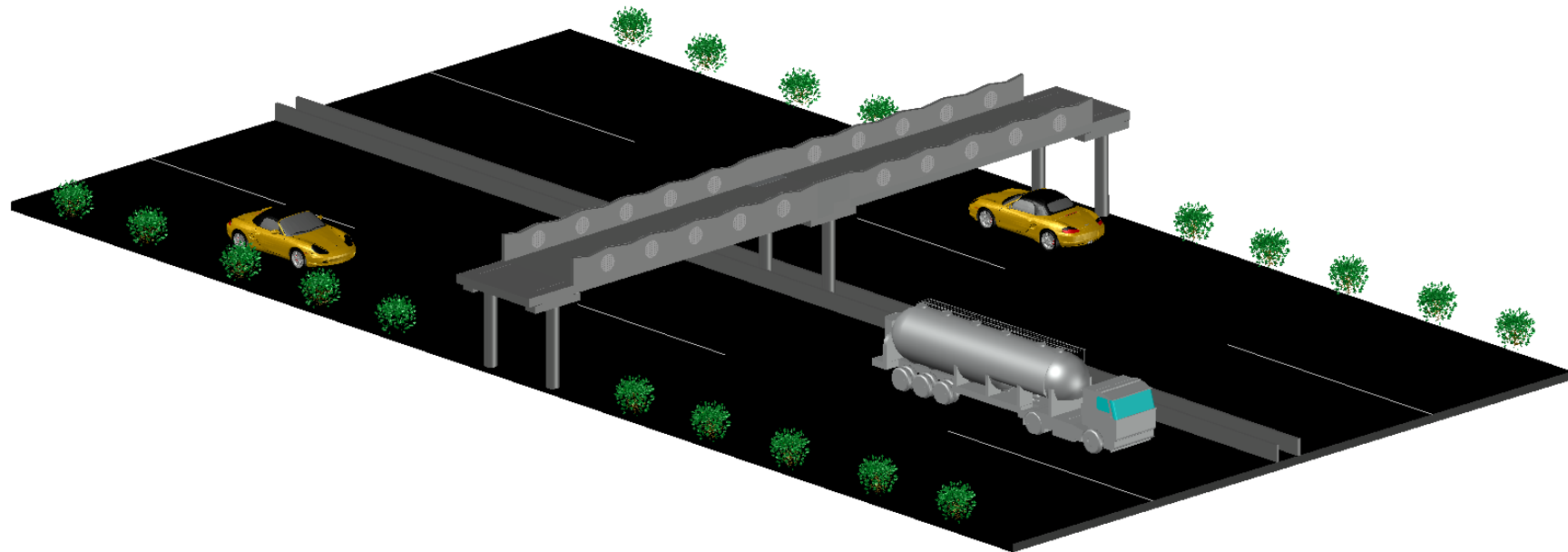
## ALTERNATIVA 2: PASARELA TIPO WARREN



*Figura 26. Diseño 3D de la alternativa 2: pasarela tipo Warren. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).*



### ALTERNATIVA 3: PASARELA DE HORMIGÓN ARMADO IN SITU



*Figura 27. Diseño 3D de la alternativa 3: pasarela de hormigón armado in situ. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).*



### ALTERNATIVA 4: PASARELA TIPO ARCO ATIRANTADO (BOWSTRING)

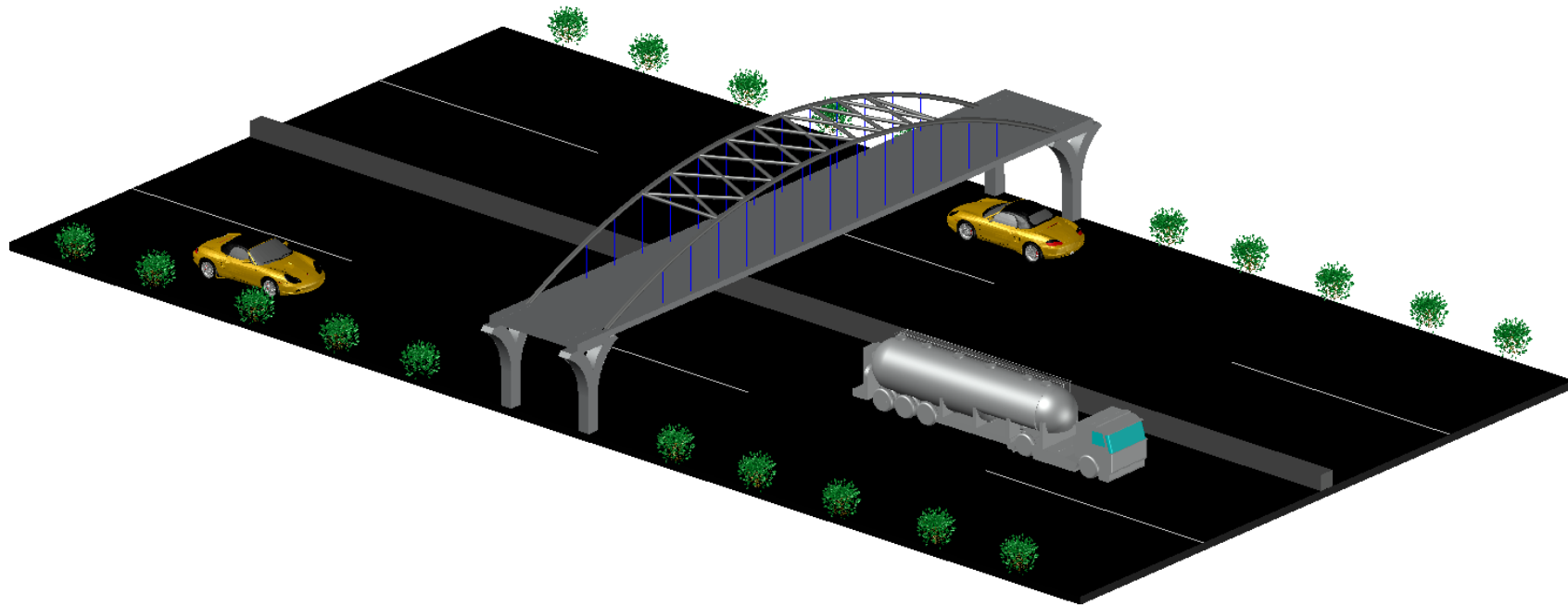


Figura 28. Diseño 3D de la alternativa 4: pasarela tipo arco atirantado (bowstring). (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).



## 10. CONCLUSIÓN

En este anejo se presentan los rasgos generales de la pasarela a proyectar y su entorno además de describir el estado actual de la pasarela existente y el objetivo fundamental de la realización de una nueva estructura en este emplazamiento.

Por otro lado, se exponen las diferentes tipologías de pasarelas que podrían haberse llevado a cabo y se han definido, en base a los condicionantes existentes, las cuatro alternativas que se estudian más a fondo en los siguientes anejos, además de presentarse los tipos de pilas a disponer en cada uno de los casos y realizar una descripción de las rampas de acceso laterales.





## 11. REFERENCIAS

Arenas&Asociados (2008). Pasarela de las norias Logroño.  
<http://www.arenasing.com/proyectos/pasarelas/pasarela-de-las-norias-logro%C3%B1o>. Accedido 22 de mayo de 2020.

Catálogo comercial (2016). Constructalia - Acero de ArcelorMittal para la construcción. <https://constructalia.arcelormittal.com/es>. Accedido el 18 de junio de 2020.

Generalitat Valenciana (2004). Orden de 9 de junio de 2004, Decreto 39/2004.  
[http://www.dogv.gva.es/portal/ficha\\_disposicion.jsp?id=26&sig=2868/2004&L=1&url\\_lista=](http://www.dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion.jsp?id=26&sig=2868/2004&L=1&url_lista=). Accedido el 30 de junio de 2020.

Generalitat Valenciana (2015). Fauna.  
<https://www.parquesnaturales.gva.es/es/web/pn-l-albufera/fauna-3817>. Accedido el 30 de junio de 2020.

Google Earth. Pinedo Valencia.  
[https://earth.google.com/web/search/pinedo/@39.40569045,-0.34051405,0.0486608a,8981.14112578d,35y,0h,45t,0r/data=CnAaRhJACiQweGQ2MDQ5N2VmNThhMjJhYjoweGE3ZGRmNDgyODE5NjRmMzUZE\\_3](https://earth.google.com/web/search/pinedo/@39.40569045,-0.34051405,0.0486608a,8981.14112578d,35y,0h,45t,0r/data=CnAaRhJACiQweGQ2MDQ5N2VmNThhMjJhYjoweGE3ZGRmNDgyODE5NjRmMzUZE_3)

[rJkK0Q0Ah025P65Hh1b8qBnBpbmVkbxgCIAEIJgokCWneAhYot0NAERunmJs1tENAGVTZ\\_E1Qq9O\\_IzwnXAR9Gte\\_KAI](https://www.google.com/search?q=Puerto+de+la+Alameda+(Valencia).&sxrf=ALeKk01B_sx2L7YNN3e3_Eg2Cgk9NoUSw:1592754921026&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=F_1x8wiRoUfO2M%253A%252CTI78sqGmByYVbM%252C_&vet=1&usg=K_aiQqScjb1wyHOXg9ZcStN4i3d9s%3D&sa=X&ved=2ahUKEwjTraC6opPqAhUKmRQKHVjMCisQuqIBMAp6BAGZEAY&biw=1920&bih=969#imgrc=3GYE8183XHEK0M). Accedido 22 de mayo de 2020.

Google imágenes a (2020). Wikipedia la enciclopedia libre. Puente de la Exposición.  
[https://www.google.com/search?q=Puerto+de+la+Alameda+\(Valencia\).&sxrf=ALeKk01B\\_sx2L7YNN3e3\\_Eg2Cgk9NoUSw:1592754921026&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=F\\_1x8wiRoUfO2M%253A%252CTI78sqGmByYVbM%252C\\_&vet=1&usg=K\\_aiQqScjb1wyHOXg9ZcStN4i3d9s%3D&sa=X&ved=2ahUKEwjTraC6opPqAhUKmRQKHVjMCisQuqIBMAp6BAGZEAY&biw=1920&bih=969#imgrc=3GYE8183XHEK0M](https://www.google.com/search?q=Puerto+de+la+Alameda+(Valencia).&sxrf=ALeKk01B_sx2L7YNN3e3_Eg2Cgk9NoUSw:1592754921026&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=F_1x8wiRoUfO2M%253A%252CTI78sqGmByYVbM%252C_&vet=1&usg=K_aiQqScjb1wyHOXg9ZcStN4i3d9s%3D&sa=X&ved=2ahUKEwjTraC6opPqAhUKmRQKHVjMCisQuqIBMAp6BAGZEAY&biw=1920&bih=969#imgrc=3GYE8183XHEK0M). Accedido 22 de mayo de 2020.

Google imágenes b (2015). Sevilla Ciudad, “La puerta y el puente de La Barqueta: pasado y presente en Sevilla”. <http://sevillaciudad.sevilla.abc.es/reportajes/macarena/cultura-macarena/la-puerta-y-el-puente-de-la-barqueta-pasado-y-presente-en-sevilla/>. Accedido 22 de mayo de 2020.

Google imágenes c (2017). Pixabay.  
<https://pixabay.com/es/photos/puente-rheinbr%C3%BCcke-rin-karlsruhe-2826490/>. Accedido 22 de mayo de 2020.

Google imágenes d (2020). Wikipedia.  
[https://www.google.com/search?q=puente+lafayette&rlz=1C1CHBF\\_esE](https://www.google.com/search?q=puente+lafayette&rlz=1C1CHBF_esE)



895ES895&sxsrf=ALeKk02DSJucTPuhWXi1R\_M6VvAkn1\_H6Q:1593591516026&source=inms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwi7-qBz6vqAhXB2-AKHaeJD64Q\_AUoAnoECBwQBA&biw=1536&bih=754#imgsrc=HBnr2CrTCMPU0M&imgdii=hOH130J7gfKztM. Accedido 22 de mayo de 2020.

Google Maps. Pinedo Valencia.

<https://www.google.com/maps/place/Pinedo,+Valencia/@39.4056891,-0.3580236,14z/data=!3m1!4b1!4m4!3m3!1s0xd60497ef58a29ab:0xa7ddf48281964f35!8m1!3d39.4082688>. Accedido 22 de mayo de 2020.

PATRICOVA (2015). Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana. <http://politicaterritorial.gva.es/es/web/planificacion-territorial-e-infraestructura-verde/patricova-plan-de-accion-territorial-de-caracter-sectorial-sobre-prevencion-del-riesgo-de-inundacion-en-la-comunitat-valenciana>. Accedido el 27 de mayo de 2020.

Juan José Arenas de Pablo (2015). Puentes arco. Evolución y comprensión. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2015/2015\\_febrero\\_3562\\_03.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2015/2015_febrero_3562_03.pdf). Accedido el 24 de mayo de 2020.

Manterola (1984). Evolución de los puentes en la historia reciente. Informes de la Construcción, vol. 36, nº 359-360, 1984. Accedido el 24 de mayo de 2020.

Manterola, Javier, & Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid (2017). Historia de los puentes.

Marcos Jesús Pantaleón Prieto, Oscar Ramón Ramos Gutiérrez (2015). Los puentes arco metálicos modernos. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2015/2015\\_enero\\_3561\\_05.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2015/2015_enero_3561_05.pdf). Accedido el 24 de mayo de 2020.

Revista de Obras Públicas (2015). Historia de los puentes arco. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2015/2015\\_enero\\_3561.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2015/2015_enero_3561.pdf). Accedido 24 de mayo de 2020.

Revista de Obras Públicas (2018). Juan José Arenas. [http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2018/2018\\_enero\\_3594.pdf](http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2018/2018_enero_3594.pdf). Accedido el 24 de mayo de 2020.

MONLEÓN CREMADES, S (1999). Apuntes de ingeniería de puentes. Introducción a su historia y concepción. Accedido el 29 de mayo de 2020.



UNE-EN ISO 14001 (2015). Sistemas de Gestión Ambiental.  
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>. Accedido el 30 de junio de 2020.

Ministerio de Fomento (2000). Obras de paso de nueva construcción.  
<http://www.carreteros.org/normativa/estructuras/otras/pdfs/obrasdepasso.pdf>. Accedido el 30 de mayo de 2020.

Generalitat Valenciana. (2016). “Régimen de Protección”. L’Albufera de Valencia, 21 de diciembre de 2015,  
<http://albufera.valencia.es/es/prot%C3%A9gela/r%C3%A9gimen-de-protecci%C3%B3n>. Accedido el 30 de junio de 2020.

---

## *ANEJO N.º2: ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO*

---

PRESENTADO POR: MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: VÍCTOR YEPES PIQUERAS

COTUTOR: JULIÁN ALCALÁ GONZÁLEZ

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

1.	ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO .....	4
2.	ENCUADRE GEOLÓGICO .....	4
2.1.	GEOLOGÍA.....	4
2.2.	SISMICIDAD .....	5
3.	DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	7
3.1.	RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO .....	7
3.1.1.	SONDEOS.....	7
3.1.2.	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	8
4.	CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	9
5.	CIMENTACIONES .....	9
6.	ESTRATIGRAFÍA DEL TERRENO.....	10
7.	CIMENTACIÓN A REALIZAR.....	16
7.1.	COMBINACIÓN DE ACCIONES .....	16
7.2.	CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN .....	17
8.	REFERENCIAS.....	22



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de suelos. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	9
Tabla 2. Sondeos realizados estrato 1. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	10
Tabla 3. Muestra inalterada (M.I.) estrato 1. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	10
Tabla 4. Resumen parámetros geotécnicos estrato 1. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	10
Tabla 5. Sondeos realizados estrato 2. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	10
Tabla 6. Parámetros geotécnicos del estrato 2 (a). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	11
Tabla 7. Parámetros geotécnicos del estrato 2 (b). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	11
Tabla 8. Ensayos SPT y muestras inalteradas (M.I.) estrato 2. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	11
Tabla 9. Resumen parámetros geotécnicos estrato 2. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	12
Tabla 10. Sondeos realizados estrato 3. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	13
Tabla 11. Parámetros geotécnicos del estrato 3 (a). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	13
Tabla 12. Parámetros geotécnicos del estrato 3 (b). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	13
Tabla 13. Ensayos SPT y muestras inalteradas (M.I.) estrato 3. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	13

Tabla 14. Resumen parámetros geotécnicos estrato 3. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	14
Tabla 15. Sondeos realizados estrato 4. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	14
Tabla 16. Ensayos SPT y muestras inalteradas (M.I.) estrato 4. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	14
Tabla 17. Resumen parámetros geotécnicos estrato 4. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	15
Tabla 18. Características principales del terreno. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	15
Tabla 19. Combinaciones de la carga que actúa sobre cabeza de pilote. (Fuente: elaboración propia). ....	16
Tabla 20. Resistencia por fuste y por punta de cada estrato. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).....	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003).....	4
Figura 2. Leyenda del Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003).....	5
Figura 3. Clasificación de suelos (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	9
Figura 4. Tabla correlación propuesta por NAVFAC. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017). ....	12
Figura 5. Esquema de hundimiento de un pilote. (Fuente: Guía de cimentaciones en obras de carretera, 2009). ....	18



## 1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO

El presente estudio geológico-geotécnico se basa en un informe realizado por SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA SL (SEG S.L.) para llevar a cabo el “Proyecto de construcción del anillo verde metropolitano de Valencia”. Este informe se llevó a cabo por subcontratación de la OFICINA TÉCNICA DE ESTUDIOS Y CONTROL DE OBRAS S.A. (OFITECO), teniendo ésta contratado obras públicas y vertebración del territorio con la GENERALITAT VALENCIANA. La empresa SEG S.L. recopiló una serie de datos de estudios realizados por ellos anteriormente de diferentes años (2000, 2002, 2010, 2014) y realizó una campaña geotécnica nueva en el año 2017.

Se define la estratigrafía del subsuelo y se estima la naturaleza y características tenso-deformacionales de los diferentes estratos sobre los que apoya la estructura planteada en este proyecto. Todo ello conforma la información principal y básica a partir de la que posteriormente se realizan unas recomendaciones geotécnicas acerca del tipo de cimentación a realizar para la obra en cuestión, además de llevar a cabo el cálculo de esta.

En resumen, los objetivos del estudio son los que se mencionan a continuación:

- Definir estratigráficamente el terreno.
- Estimar las características geotécnicas necesarias para el cálculo de la cimentación de la estructura planteada.
- Recomendar una tipología de cimentación en base a la información extraída del estudio.

## 2. ENCUADRE GEOLÓGICO

### 2.1. GEOLOGÍA

En base a la hoja 722 del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 extraída del IGME (1972-2003), la ubicación de la pasarela se encuentra en una gran extensión superficial de cuaternario cuya geología está formada por una llanura prelitoral, ocupada en su mayor parte por L’Albufera y sedimentos asociados y por limos de inundación del río Turia.

La zona a estudiar está formada por depósitos mixtos continentales-marinos, entre las que se pueden distinguir dos formaciones principalmente: limos pardos ( $Q_2l$ ) y limos de inundación ( $Q_1^3li$ ), como se pueden observar en la *Figura 1* extraída del Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 1972-2003):

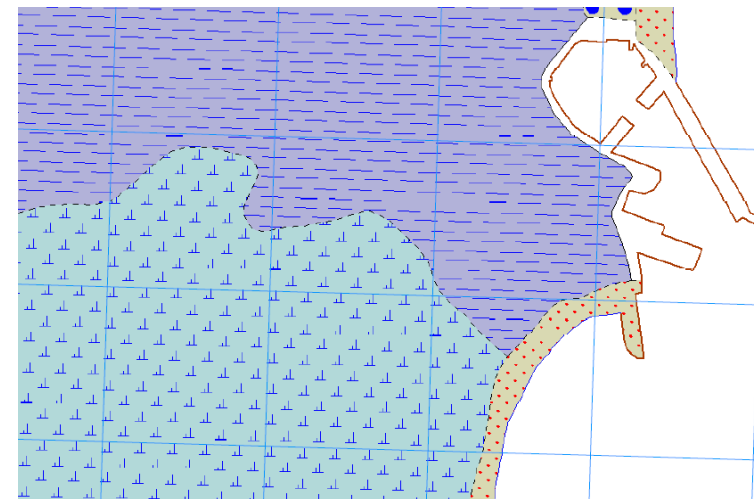


Figura 1. Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003).





LEYENDA

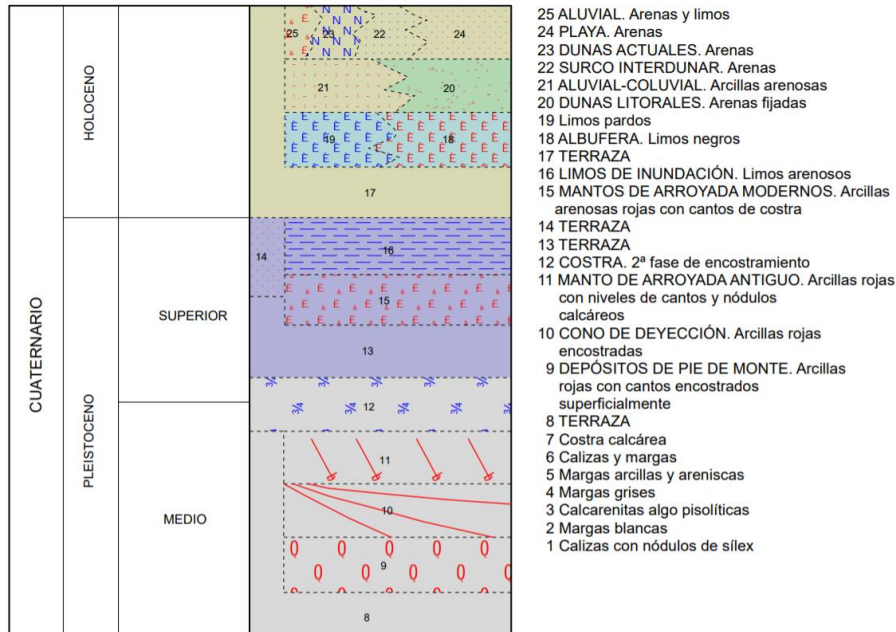


Figura 2. Leyenda del Mapa geológico de España. (Fuente: IGME, 1972-2003).

## 2.2. SISMICIDAD

Se explica a continuación el proceso llevado a cabo para la obtención de la aceleración sísmica básica ( $a_b$ ) y la aceleración sísmica de cálculo ( $a_c$ ), además de la fuerza horizontal que se produce debido al sismo.

La aceleración sísmica básica es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno cuyo valor según la Norma Sismorresistente (NCSE-02, 2009) para la zona de implantación de la obra es  $a_b=0,06 * g$ , siendo el coeficiente de contribución  $K=1$  (datos obtenidos del Anejo 1 de esta normativa para valores superiores a  $a_b=0,04 * g$ ). Este coeficiente tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremoto esperados.

El proceso de obtención de la aceleración sísmica de cálculo se lleva a cabo por medio de la siguiente expresión:

$$a_c = S * \rho * a_b$$

donde:

$a_b$ : aceleración sísmica básica definida anteriormente.

$\rho$ : coeficiente adimensional de riesgo, que es función de la probabilidad de que se exceda  $a_c$  en el período de vida para el que se proyecta la construcción. Para construcciones de importancia normal este coeficiente toma el valor de  $\rho = 1$ .

$S$ : coeficiente de amplificación del terreno que toma el siguiente valor:

- Para  $\rho * a_b \leq 0,1 * g$

$$S = \frac{C}{1,25}$$

- Para  $0,1 * g < \rho * a_b < 0,4 * g$



$$S = \frac{C}{1,25} + 3,33 * \left( \rho * \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) * \left( 1 - \frac{C}{1,25} \right)$$

- Para  $0,4 * g \leq \rho * a_b$

$$S = 1$$

Finalmente,  $\rho * a_b \leq 0,1 * g$ , por lo que  $S=1,2$ .

siendo C el coeficiente del terreno, cuyo valor depende del tipo de terreno existente en los primeros 30 m bajo la superficie:

0,00 m a 20,00 m- Terreno tipo III      C=1,60

Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme.

20,00 m a 30,00 m- Terreno tipo II      C=1,30

Suelo granular denso o suelo cohesivo duro. Roca muy fracturada.

A partir del perfil anteriormente descrito se calcula el coeficiente de terreno C con la siguiente expresión:

$$C = \frac{\sum C_i * e_i}{30} = \frac{20,00 * 1,60 + 10,00 * 1,30}{30} = 1,50$$

Realizando las operaciones pertinentes se obtiene una aceleración de cálculo cuyo valor es  $a_c = 0,072 * g$ .

Una vez obtenida la aceleración sísmica de cálculo, se procede al cálculo de la fuerza horizontal que provoca el sismo sobre la pasarela en base a la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07, 2008) y según se explica a continuación:

Dicha fuerza se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$F = M * a_c * S_a(T)$$

donde:

$M$ : masa del tablero (t).

$a_c$ : aceleración sísmica básica calculada previamente ( $0,072 * g$ ).

$S(T)$ : espectro de respuesta elástica de aceleraciones.

Por un lado, la masa total del tablero de la pasarela es de 14 t, que al sumándole el peso de las cargas muertas asciende a  $M=80$  t. Se calcula posteriormente la rigidez total de los neoprenos mediante la suma de la rigidez de los neoprenos individuales calculada en el *Anejo N° 3: Justificación resistente de las alternativas*, obteniendo una rigidez total de  $R= 8648,64$  kN/m.

Teniendo la masa y la rigidez total, se calcula el periodo de oscilación  $T$  mediante la siguiente fórmula:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{M}{R}} = 2\pi * \sqrt{\frac{100}{8648,64}} = 0,66 \text{ s.}$$

Se obtiene a continuación el espectro de respuesta elástica de aceleraciones  $S(T)$  siguiendo el apartado 3.5.1.1 de la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07, 2008). En primer lugar,



se calculan los valores del periodo que delimitan el espectro mediante la *Tabla 3.2* de la Norma con la consideración del sismo último de cálculo:

$$T_A = K * C / 10 = 1 * 1,50 / 10 = 0,15 \text{ s.}$$

$$T_B = K * C / 2,5 = 1 * 1,50 / 2,5 = 0,60 \text{ s.}$$

$$T_C = K * (2 + C) = 1 * (2 + 1,50) = 3,50 \text{ s.}$$

siendo  $K$  un coeficiente de contribución igual a 1 para el lugar de emplazamiento de la pasarela y  $C$  un coeficiente de terreno igual a 1,50, ambos valores calculados previamente.

Tras haber calculado estos valores, el espectro de respuesta elástica de aceleraciones  $S(T)$  se obtiene según se indica a continuación para  $T_B \leq T \leq T_C$ :

$$S_a(T) = 2,5 * v * \frac{T_B}{T} * a_c = 2,5 * 1,09 * \frac{0,60}{0,66} * 0,072 * g = 1,74$$

donde:

$v$ : factor corrector dependiente del amortiguamiento de la estructura y que se calcula según:

$$v = \left(\frac{5}{\zeta}\right)^{0,4} = \left(\frac{5}{4}\right)^{0,4} = 1,09$$

Siendo  $\zeta$  el índice de amortiguamiento en porcentaje y de valor 4 según la *Tabla 4.2* de la Norma para una pasarela de acero y bajo la acción del sismo último de cálculo.

Finalmente, se obtiene una fuerza horizontal debida al sismo sobre la pasarela de:

$$F = M * a_c * S_a(T) = 100 * 0,072 * 9,81 * 1,74 = 101,05 \text{ kN.}$$

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

#### 3.1. RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO

Debido a que la empresa SEG S.L. ha contado con campañas de reconocimientos anteriores de zonas muy próximas a la ubicación de la futura pasarela, la campaña de reconocimiento del tramo estudiado consiste en dos (2) sondeos con muestras inalteradas de los que se realizan (M.I) y ensayos de penetración estándar (SPT), además de llevar a cabo un ensayo de penetración dinámica (DPSH) y ensayos de laboratorio. Los procedimientos seguidos se especifican a continuación:

##### 3.1.1. SONDEOS

Se llevan a cabo sondeos mecánicos rotativos con extracción continua de testigo, con o sin inyección de agua en función de la consistencia del terreno encontrado. Se emplea una batería sencilla con coronas de widia para la extracción del testigo en suelos y tuberías de acero para la sujeción de las paredes del sondeo en terrenos no cohesivos, consiguiendo de esta forma recuperaciones de testigo superiores al 95%.



Al mismo tiempo que se avanza en la perforación, se realizan ensayos “in situ” de penetración estándar (S.P.T.) para determinar la capacidad portante del terreno. Estos ensayos se realizan mediante la hincada de un toma-muestras de 60 cm de longitud, obteniendo del número de golpes (N) necesarios para hincar los primeros 30 cm con una maza de golpeo de 63,5 kg desde una altura de caída de 75 cm, practicándose con puntaza ciega en los suelos de grano grueso (gravas) y con zapata abierta en los de grano fino (arenas, limos y arcillas).

Para la toma de muestras inalteradas en los suelos se han utilizado toma-muestras de pared gruesa hincado a percusión para posteriormente poder determinar en el laboratorio las características del suelo. Si no es posible realizar muestras inalteradas debido a la dureza del terreno se procede al parafinado o plastificado del testigo. En caso de que los terrenos sean muy blandos se realiza la toma de muestras mediante un tubo de pared delgada o Shelby que se introduce a presión, sin golpeo.

### 3.1.2. ENSAYOS DE LABORATORIO

A partir de las muestras obtenidas se realizan ensayos de laboratorio de aquellas muestras que resulten más representativas.

De las muestras extraídas de los sondeos se llevan a cabo ensayos de identificación, de estado, de resistencia, de consolidación, de deformación y ensayos químicos.

Se mencionan a continuación los ensayos realizados:

Ensayos de identificación y estado:

- Análisis granulométrico por tamizado.
- Límites de Atterberg (límite líquido y plástico e índice de plasticidad).
- Determinación del contenido en humedad.
- Determinación de la densidad aparente y seca.
- Determinación de la densidad de las partículas.

Ensayos de resistencia:

- Determinación de la resistencia a compresión simple en suelos.
- Determinación de la resistencia al corte mediante corte directo (CD, Consolidado-Drenado).
- Ensayos de consolidación y deformación.
- Ensayo de consolidación unidimensional en edómetro.
- Hinchamiento libre en la celda edométrica.
- Ensayo de colapso en celda edométrica.

Ensayos de compactación:

- Ensayo Proctor Modificado (densidad seca máxima y humedad óptima).
- Determinación del índice C.B.R. en laboratorio.

Ensayos químicos en agua y suelo:

- Análisis químico del agua (agresividad al hormigón): pH, magnesio, amonio, sulfatos, cloro y dióxido de carbono libre.



- Determinación del contenido en sulfatos.
- Determinación del contenido en materia orgánica.
- Determinación del contenido en sales solubles.
- Determinación del contenido en yesos.

#### 4. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Una vez se extrae el material excavado, se procede a su clasificación según la normativa PG-3 (2019), que divide los suelos en marginales, tolerables, adecuados o seleccionados según los criterios siguientes:

Todos los suelos para terraplén deben cumplir  $\#20 > 70\%$  ó  $\#0,08 \geq 35\%$

SELECCIONADOS	ADECUADOS	TOLERABLES	MARGINALES	
<0,2%	<1%	<2%	apdo 330.4.4.5	Materia orgánica
<0,2%	<0,2%	YESO <5%	apdo 330.4.4.3	Sales solubles
		OTRAS <1%	apdo 330.4.4.4	
—	—	<3%	<5%	Hinchamiento libre
		<1%	apdo 330.4.4.1	Asiento en ensayo de colapso
≤100	≤100	—	—	Tamaño máximo (mm)
(*) #0,4<15%	#2<80%	—	—	Otras condiciones granulométricas
	#0,4<75%	—	—	Finos (#0,08)
	<25%	<35%	—	—
	SEGÚN GRÁFICO ADJUNTO			Plasticidad

(\*) en caso de cumplir la condición indicada, se esta exento del resto de las comprobaciones de granulometría y plasticidad

#n = A% porcentaje en peso que pase por tamiz n UNE  
(#n = N° de tamiz de la serie UNE)

Tabla 1. Clasificación de suelos. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017)

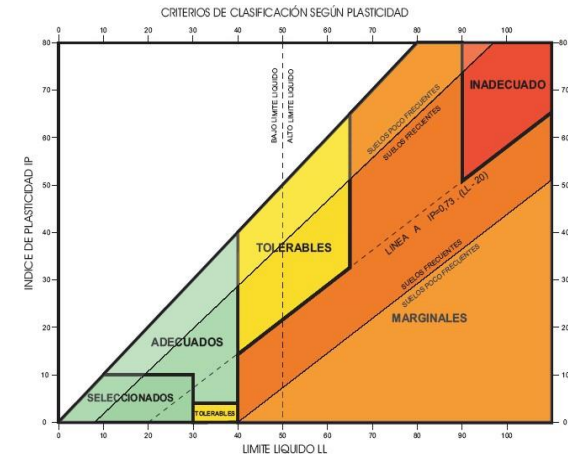


Figura 3. Clasificación de suelos (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

La excavabilidad del material se consigue mediante la observación de las litologías de las catas y la facilidad de excavación de estas.

#### 5. CIMENTACIONES

Cabe la posibilidad de disponer tres tipologías de cimentación: cimentación superficial mediante zapatas, cimentación profunda mediante pilotes o cimentación profunda con micropilotes. En función de la tipología escogida finalmente, se explicará su procedimiento de cálculo en el apartado correspondiente.



## 6. ESTRATIGRAFÍA DEL TERRENO

De todos los tramos estudiados por la empresa SEG. SL, se obtiene la estratigrafía del tramo más cercano a la obra a proyectar. La estratigrafía del terreno, obtenida en base a estudios anteriores y prospecciones nuevas mostradas al final de este anejo, es como se define a continuación:

### 1) Rellenos y material de inundación no consolidado (0,00 m-2,50 m)

El primer estrato detectado son antiguos suelos vegetales formado por rellenos antrópicos con limos, cantos y bolos.

En este nivel se realizan dos sondeos, además de tomarse una muestra inalterada. Los datos pertinentes a estos ensayos se muestran en el anexo adjunto al final del texto.

Sondeo	Profundidad (m)	Nivel
S-0+310	0,00-1,50	Rellenos antrópicos
	1,50-1,80	Limos inundación/S. vegetal
S-0+420	0,00-1,50	Rellenos antrópicos
	1,50-2,50	Limos inundación/S. vegetal

Tabla 2. Sondeos realizados estrato 1. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

De los ensayos in situ realizados se deduce una consistencia baja del terreno:

Sondeo	Cota (m)	Tipo	Golpeos	N <sub>30</sub>
S-0+420	2,00-2,50	M.I.	3/4/5/6	9

Tabla 3. Muestra inalterada (M.I.) estrato 1. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

A partir de esta información se extraen las siguientes características geotécnicas del estrato:

Resumen parámetros geotécnicos		
Parámetros geotécnicos	Cohesión efectiva, $c'$ (kPa)	0
	Ángulo rozamiento interno efectivo ( $\phi$ )	22
	Densidad húmeda ( $kN/m^3$ )	16

Tabla 4. Resumen parámetros geotécnicos estrato 1. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

### 2) Arcillas y limos de consistencia baja-media. (2,50 m-10,00 m)

Estrato de baja plasticidad formado por arcillas limosas con presencia de nódulos de forma aleatoria. En este nivel se realizan dos sondeos de los que se hacen ensayos SPT y se extraen muestras inalteradas.

Sondeo	Profundidad (m)	Nivel
S-0+310	1,80-10,00	Arcillas limosas
S-0+420	2,60-9,00	Arcillas limosas

Tabla 5. Sondeos realizados estrato 2. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).





	W (%)	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	Q <sub>u</sub> (kPa)	SO <sub>4</sub> (%)
S-0+420 SPT (2,60- 3,20)m	-	-	-	-	0,03
S-0+310 M.I. (3,00- 3,60)m	18,3	1,80	2,13	70	0,03
S-0+420 M.I. (5,00- 5,60)m	11,2	2,02	2,25	130	-
S-0+310 SPT (7,00- 7,60)m	-	-	-	-	-

Tabla 6. Parámetros geotécnicos del estrato 2 (a). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

	L. Atterberg			Granulometría		
	L.L.	L.P.	I.P.	t. 5	t. 2	t.0,08
S-0+420 SPT (2,60- 3,20)m	28,5	14,4	14,1	100	99	89
S-0+310 M.I. (3,00- 3,60)m	29,9	16,8	13,1	99	97	61
S-0+420 M.I. (5,00- 5,60)m	20,1	11,1	9,0	94	89	62
S-0+310 SPT (7,00- 7,60)m	31,3	15,6	15,7	100	99	97

Tabla 7. Parámetros geotécnicos del estrato 2 (b). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

A partir de los ensayos in situ realizados se deduce la consistencia baja-media del estrato:

Sondeo	Cota (m)	Tipo	Golpeos	N <sub>30</sub>
S-0+310	3,00-3,60	M.I.	3/4/7/5	11
	3,60-4,20	SPT	1/2/1/3	3
	7,00-7,60	SPT	3/3/4/5	7
S-0+420	2,60-3,20	SPT	2/2/3/2	5
	5,00-5,60	M.I.	6/14/17/17	31
	5,60-6,20	SPT	6/6/6/8	12
	8,00-8,60	M.I.	6/9/7/8	16
	8,60-9,20	SPT	3/2/4/4	6

Tabla 8. Ensayos SPT y muestras inalteradas (M.I.) estrato 2. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).



▪ **Parámetros geotécnicos:**

- Cohesión sin drenaje ( $c_u$ ): se adopta el valor relacionado con el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple (RCS), tal y como se ha realizado en diversos trabajos geotécnicos desde hace años, como en las recomendaciones de Castanedo:  $c_u = \frac{RCS}{2} = \frac{100}{2} \approx 50 \text{ kPa}$ .
- Ángulo de rozamiento interno ( $\phi'$ ): en terrenos cohesivos, el ángulo de rozamiento interno se obtiene a partir del índice de plasticidad según la correlación entre el índice de plasticidad del suelo y el ángulo de rozamiento interno propuesta por la NAVFAC y empleada por la empresa SEG S.L (2017) mostrada en la siguiente tabla, con un valor de  $\phi' \approx 28^\circ$ :

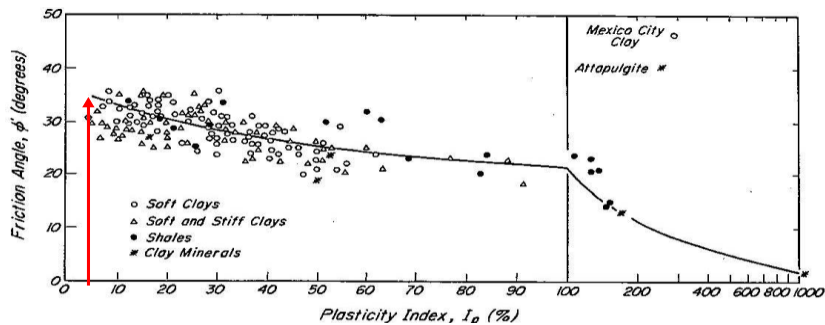


Figura 4. Tabla correlación propuesta por NAVFAC. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTÉCNIA, 2017).

- Deformabilidad: módulo de deformación sin drenaje y efectivo,  $E_u$ ,  $E'$ . Se adopta la siguiente relación a partir del parámetro  $c_u$  y un factor  $k$  que varía entre 200 y 400.

$$E_u = k * c_u = 200 * c_u = 10000 \text{ kPa. (Lambe y Withman, 1969).}$$

Para este valor de  $E_u$  se tiene un valor de módulo de deformación  $E'$ :

$$E' = \frac{1 + \nu}{1,5} * E_u \approx 8600 \text{ kPa}$$

Siendo  $\nu$  el coeficiente de Poisson tomado igual a 0,30.

Resumen parámetros geotécnicos		
Parámetros geotécnicos	Cohesión sin drenaje, $c_u$ (kPa)	50
	Cohesión efectiva, $c'$ (kPa)	10
	Ángulo rozamiento interno efectivo ( $^\circ$ )	28
	Densidad húmeda ( $\text{kN/m}^3$ )	21,9
	Módulo de deformación sin drenaje, $E_u$ (kPa)	10000
	Módulo de deformación efectivo, $E'$ (kPa)	8600

Tabla 9. Resumen parámetros geotécnicos estrato 2. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

### 3) Arcillas limosas (10,00 m-15,00 m)

Estrato de baja o nula plasticidad formado por arcillas limosas y limos arenosos con presencia de nódulos abundantes en ciertas zonas.

Se extraen muestras inalteradas y se realizan ensayos SPT, cuya información se muestra a continuación:



Sondeo	Profundidad (m)	Nivel
S-0+310	10,00-10,50	Arcillas y limos con nódulos
	10,50-15,00	Arcillas arenosas
S-0+420	9,00-12,50	Limos arenosos con nódulos
	12,50-15,00	Arcillas arenosas

Tabla 10. Sondeos realizados estrato 3. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

	W (%)	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	Q <sub>u</sub> (kPa)	SO <sub>4</sub> (%)
S-0+310 M.I. (12,00-12,60)m	11,6	1,87	2,09	115	-
S-0+420 M.I. (13,60-14,20)m	21,4	-	-	-	-

Tabla 11. Parámetros geotécnicos del estrato 3 (a). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

	L. Atterberg			Granulometría		
	L.L.	L.P.	I.P.	t. 5	t. 2	t.0,08
S-0+310 M.I. (12,00-12,60)m	22,6	14,1	8,5	100	99	90
S-0+420 M.I. (13,60-14,20)m	NP	NP	NP	89	82	42

Tabla 12. Parámetros geotécnicos del estrato 3 (b). (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

En base a los ensayos in situ realizados se extrae que el estrato tiene consistencia y densidad media:

Sondeo	Cota (m)	Tipo	Golpeos	N <sub>30</sub>
S-0+310	10,00-10,20	SPT	45/R	R
	12,00-12,60	M.I.	12/17/20/20	37
	12,60-13,20	SPT	6/7/6/7	13
	13,20-15,00	SPT	4/5/9/8	14
S-0+420	11,00-11,60	SPT	3/4/6/6	10
	13,60-14,20	M.I.	5/6/10/9	16
	14,20-14,80	SPT	3/7/9/10	16

Tabla 13. Ensayos SPT y muestras inalteradas (M.I.) estrato 3. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

▪ **Parámetros geotécnicos:**

- Cohesión sin drenaje ( $c_u$ ): se adopta el valor relacionado con el resultado del ensayo de resistencia a compresión simple (RCS):  
$$c_u = \frac{RCS}{2} = \frac{115}{2} \approx 55 \text{ kPa.}$$
- Ángulo de rozamiento interno ( $\phi'$ ): En terrenos cohesivos, el ángulo de rozamiento interno se obtiene a partir del índice de plasticidad según la correlación propuesta por la NAVFAC anteriormente mostrada, con un valor de  $\phi' \approx 28^\circ$ .



- Deformabilidad: módulo de deformación sin drenaje y efectivo,  $E_u$ ,  $E'$ . Se adopta la siguiente relación a partir del parámetro  $c_u$ .

$$E_u = k * c_u = 200 * c_u = 11000 \text{ kPa. (Lambe y Withman, 1969).}$$

Para este valor de  $E_u$  se tiene un valor de módulo de deformación  $E'$ :

$$E' = \frac{1 + \nu}{1,5} * E_u \approx 9500 \text{ kPa}$$

Siendo  $\nu$  el coeficiente de Poisson tomado igual a 0,30.

De forma resumida, se muestran los siguientes parámetros geotécnicos para este estrato:

Resumen parámetros geotécnicos		
Parámetros geotécnicos	Cohesión sin drenaje, $c_u$ (kPa)	55
	Cohesión efectiva, $c'$ (kPa)	20
	Ángulo rozamiento interno efectivo ( $^\circ$ )	28
	Densidad húmeda ( $\text{kN/m}^3$ )	21,0
	Módulo de deformación sin drenaje, $E_u$ (kPa)	11000
	Módulo de deformación efectivo, $E'$ (kPa)	9500

Tabla 14. Resumen parámetros geotécnicos estrato 3. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

#### 4) Arenas limosas (15,00 m-20,00 m)

Se trata de unas arenas densas con valores medios de  $N_{20}$  en el ensayo DPSH y valores de  $N_{30}$  en el ensayo SPT. La información acerca de los ensayos SPT y las muestras inalteradas se muestran a continuación:

Sondeo	Profundidad (m)	Nivel
S-0+310	15,00-20,00	Arenas limosas
S-0+420	15,00-20,00	Arenas limosas

Tabla 15. Sondeos realizados estrato 4. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

Sondeo	Cota (m)	Tipo	Golpeos	$N_{30}$
S-0+310	15,00-17,80	M.I.	21/16/16/17	32
	19,40-20,00	SPT	10/21/15/17	26
S-0+420	16,60-17,20	SPT	16/21/25/25	46
	19,40-20,00	SPT	5/5/7/8	12

Tabla 16. Ensayos SPT y muestras inalteradas (M.I.) estrato 4. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

- Resistencia y deformabilidad: densidad relativa, para niveles granulares, se emplea la siguiente expresión propuesta por Bazaraa (1967):

$$\frac{DR}{100} = 0,2236 * \sqrt{\frac{N_{30}}{a + b * \sigma'_{vd}}}$$

siendo:



$N_{30}$ : número de golpes obtenidos del ensayo SPT. (Se aproxima a 15 golpes).

$\sigma'_{vd}$ : tensión efectiva.

$a$  y  $b$ : constantes de valor 1,00 y 2,00 respectivamente.

Realizando la operación, se obtiene una densidad relativa del 96%. Se calcula a continuación el ángulo de rozamiento interno de este nivel del terreno mediante la siguiente expresión para suelos granulares de Meyerhof (1957):

$$\phi = 25 + 0,15 * DR\% = 39,4^\circ$$

- Deformabilidad (Denver, 1982):

$$E = 7 * \sqrt{N_{30}} = 14,5 \text{ MPa.}$$

Resumen parámetros geotécnicos		
Parámetros geotécnicos	Cohesión efectiva, $c'$ (kPa)	0,00
	Ángulo rozamiento interno efectivo ( $^\circ$ )	35
	Densidad húmeda ( $\text{kN/m}^3$ )	22,0
	Módulo de deformación efectivo, $E'$ (kPa)	14500

Tabla 17. Resumen parámetros geotécnicos estrato 4. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

En base a los datos obtenidos anteriormente, se resume en la siguiente tabla las características geotécnicas del terreno:

Características principales		
Espesor de suelo vegetal y/o rellenos		Variable. Desde 1,80 m hasta 2,50 m
Tipo terreno natural y compacidad ( $N_{30}$ )		Arcillas limosas ( $N_{30}=5$ )
Clasificación según PG-3		Tolerable
Excavabilidad		Buena, con medios mecánicos
Parámetros geotécnicos	Cohesión efectiva (kPa)	0,00
	Ángulo rozamiento interno efectivo ( $^\circ$ )	30,0
	Densidad húmeda ( $\text{kN/m}^3$ )	20,0
	Densidad seca ( $\text{kN/m}^3$ )	19,0
	Módulo de deformación sin drenaje, $E_u$ (kPa)	12000
	Módulo de deformación efectivo, $E'$ (kPa)	9600

Tabla 18. Características principales del terreno. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

Por lo que respecta al nivel freático, se detecta la presencia de este a una profundidad aproximada de -3,10 m/-3,50 m respecto a la boca de los sondeos, siendo su agresividad baja-media.

Todos los datos acerca de las características de los diferentes estratos del terreno se obtienen de la empresa SEG S.L. Sin embargo, para corroborar estos resultados, se ha consultado el documento "Obtención de parámetros geotécnicos para su aplicación de mecánica de suelos (2019)".



## 7. CIMENTACIÓN A REALIZAR

### 7.1. COMBINACIÓN DE ACCIONES

En base al apartado 5.7 de la Guía de cimentaciones en obras de carretera (2009), se realizan las combinaciones de acciones características para determinar la carga que actúa sobre la cabeza de pilote, teniendo en cuenta tanto las fuerzas verticales como las horizontales y siguiendo la siguiente expresión:

$$N_i = \frac{A_i}{\sum A_i} * V - \frac{A_i * y_i}{\sum A_i * y_i^2} * M_x + \frac{A_i * x_i}{\sum A_i * x_i^2} * M_y$$

siendo:

$A_i$ : área de un pilote.

$V$ : carga vertical actuante en cabeza de pilote (kN).

$M_x$ : momento de eje x actuante en cabeza de pilote (kN\*m).

$M_y$ : momento de eje y actuante en cabeza de pilote (kN\*m).

$y_i$ : distancia desde el eje x del encepado hasta el centro del pilote más alejado.

$x_i$ : distancia desde el eje y del encepado hasta el centro del pilote más alejado.

Tras haber obtenido con el programa informático SAP2000 las distintas combinaciones características que provocan los máximos esfuerzos, tanto

verticales ( $V$ ) como horizontales ( $H_x$ ,  $H_y$ ), que multiplicándolos por la altura de la pila se obtienen los máximos momentos ( $M_{x,máx}$ ,  $M_{y,máx}$ ) y se comprueba que la combinación más desfavorable obtiene una  $N_i$  de 404,83 kN.

En la tabla siguiente se muestran los valores obtenidos en las diferentes combinaciones:

		Ni (kN)
máx. V (kN)	800	<b>404,83</b>
Mx (kN*m)	161,25	
My (kN*m)	7,25	
V (kN)	780	394,70
Mx,máx (kN*m)	173,7	
My (kN*m)	7,05	
V (kN)	386,42	300,81
Mx (kN*m)	12,85	
My, máx (kN*m)	161,4	

Tabla 19. Combinaciones de la carga que actúa sobre cabeza de pilote.  
(Fuente: elaboración propia).





## 7.2. CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN

En base a la naturaleza del terreno estudiado en los apartados anteriores, se puede observar que los niveles iniciales del terreno, hasta aproximadamente los 10 m de profundidad, se tiene un terreno cuya consistencia es baja-media. A partir de los 10 m de profundidad se da un terreno granular-cohesivo con una compacidad mayor. Por ello, se recomienda realizar una cimentación profunda con pilotes perforados in situ.

La cimentación mediante pilotes consiste en una tipología de cimentación en profundidad normalmente empleada para terrenos poco homogéneos o con poca capacidad portante que reparte las cargas al terreno por fuste, por punta o ambas a la vez. Los diámetros de pilote oscilan entre los 0,5 m y los 2 m.

En el cálculo de los pilotes se emplea la “Guía de cimentaciones de obras de carretera” (Ministerio de Fomento, 2009), y se determina la resistencia frente a hundimiento de los pilotes y su tope estructural, además de llevar a cabo el cálculo de asientos admisibles.

### ▪ COMPROBACIÓN FRENTE A HUNDIMIENTO

Se debe calcular la carga admisible de los pilotes, y para ello se obtiene la carga de hundimiento de los pilotes a disponer, tanto del fuste como de la punta:

$$N_i + W = Q_p + Q_f = \frac{Q_{h,p}}{F_{s,p}} + \frac{Q_{h,f}}{F_{s,f}}$$

donde:

$N_i$ : fuerza de compresión aplicada en cabeza de pilote (404,83 kN).

$W$ : peso del pilote igual a  $25 \frac{kN}{m^3} * A_{pilote}(m^2) * L_{pilote}(m)$

$$Q_{h,p} = A_p * q_p$$

$$Q_{h,f} = \sum A_f * \tau_f$$

$F_{s,p}$ : factor de seguridad de la punta cuyo valor es 3, según “Shallow and deep foundations in geotechnical engineering” (2018).

$F_{s,f}$ : factor de seguridad del fuste cuyo valor es 1,5, según “Shallow and deep foundations in geotechnical engineering” (2018).

$A_p$  y  $A_f$  son las áreas de la punta y del fuste respectivamente y  $r_p$  y  $r_f$  son las resistencias unitarias de la punta y del fuste.

Para llevar a cabo el cálculo de las resistencias por fuste y por punta en los distintos estratos se emplea la Guía de cimentaciones en obras de carretera (2009).

Para determinar la resistencia por fuste de los niveles de **terreno cohesivo** se sigue la siguiente fórmula:

$$\tau_f = c_u * \frac{p_0}{p_0 + c_u}$$



Por otro lado, la resistencia por punta en estos mismos niveles se obtiene con la siguiente expresión:

$$q_p = c_u * N_c^*$$

donde:

$c_u$ : cohesión sin drenaje.

$p_0$ : presión de referencia estimado en 100 kPa.

$N_c^*$ : factor de capacidad portante definido como  $9 * f_d$ , con  $f_d$  igual a  $1 - \frac{1}{3} * D \geq \frac{2}{3}$

La resistencia por fuste en los **niveles granulares** se determina por medio de la siguiente expresión siendo esta una fórmula extraída de un método empírico basado en el ensayo SPT:

$$\tau_f = 2 * N_{30} (kPa) \leq 90 kPa$$

Siendo  $N_{30}$  el número de golpes obtenidos en el ensayo SPT.

La resistencia por punta en estos terrenos es igual a:

$$q_p = \alpha * N_{30} * f_D (MPa)$$

donde:

$r_p$ : resistencia última por punta en MPa.

$N_{30}$ : valor de golpeo en el ensayo SPT.

$\alpha$ : factor que depende del tamaño medio de los granos de arena y tiene el siguiente valor:

0,1 Mpa para arenas finas.  $D_{50} \leq 0,2 mm$ .

0,2 Mpa para arenas gruesas.  $D_{50} \leq 0,6 mm$ .

$f_D$ : factor adimensional que depende del diámetro del pilote.

$$f_D = 1 - \frac{1}{3} * D \geq \frac{2}{3}$$

Es preciso obtener cuántos pilotes son necesarios para la carga de trabajo correspondiente con un espaciamiento entre centros de pilotes de  $3 * \phi$  para conseguir una eficiencia del 100%.

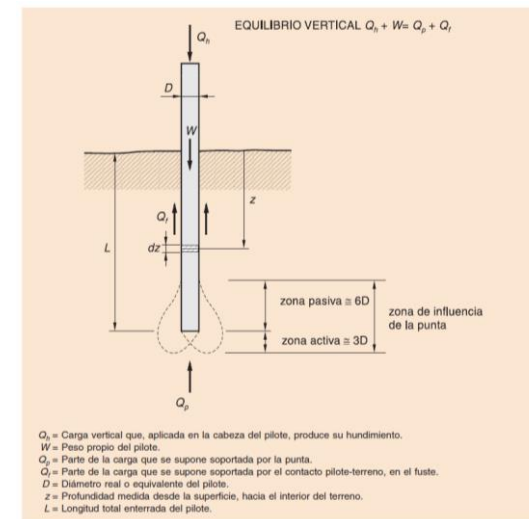


Figura 5. Esquema de hundimiento de un pilote. (Fuente: Guía de cimentaciones en obras de carretera, 2009).



La carga admisible de un pilote es equivalente a  $N_i = \frac{N}{n^{\circ} \text{ pilotes}}$  donde N es el axil total transmitido por la estructura, el área de la punta es  $A_p = \pi * \frac{D^2}{4}$  y el área del fuste es  $A_f = \pi * \phi$ , quedando finalmente:

$$N_i + W = \frac{r_p * \frac{\pi * \phi^2}{4}}{F_{s,p}} + \frac{\sum r_{f,i} * \pi * \phi * L_i}{F_{s,f}}$$

#### ▪ TOPE ESTRUCTURAL

El tope estructural es la carga máxima que resiste un pilote, comprobándose que el axil de cálculo no supere dicho tope. Para pilotes perforados de hormigón in situ y terreno ya sea seco o húmedo, la tensión máxima es de  $\sigma_{m\acute{a}x} = 4 \text{ MPa}$  (Guía de cimentaciones en obras de carretera, 2009). A partir de aquí se obtiene la carga máxima ( $Q_{m\acute{a}x}$ ) que puede soportar un pilote mediante el producto de esta tensión por el valor del área del pilote. El axil de cálculo obtenido por medio del programa SAP2000 debe ser inferior a este valor.

$$N_i \leq Q_{m\acute{a}x} = \sigma_{m\acute{a}x} * A_{pilote}$$

En la tabla siguiente se define la sección de terreno para el cálculo de pilotes, estableciendo en un primer lugar una profundidad de empotramiento máxima de 17,5 m, ya que en los primeros 2,50 m de terreno no puede comenzar el encepado ya que se trata de rellenos antrópicos. Debido a esto, el encepado, de 1 metro de canto, comienza a la cota -2,50 m, por lo que los pilotes comienzan a la cota -3,50 m (respecto a

la parte superior del primer estrato). Por otro lado, cabe tener en cuenta que la longitud mínima de los pilotes debe ser de 7-8 m, por lo que la punta de los pilotes llegará como mínimo al tercer estrato. La tabla mostrada a continuación indica los valores necesarios para llevar a cabo el cálculo del encepado de pilotes. Los resultados obtenidos se obtienen en base al procedimiento descrito anteriormente y a partir de las características de cada uno de los estratos definidos en el apartado correspondiente de este anejo.

Nivel de profundidad (m)	1) Rellenos, suelos no consolidados	2) Arcillas y limos	3) Arcillas limosas y limos arenosos	4) Arenas limosas
Profundidad (m)	0,00 m-2,50 m	2,50 m-10 m	10,00 m-15,00 m	15,00 m-20,00 m
Resistencia por fuste (KPa)	0,00	33	35,5	32,2
Resistencia por punta (MPa)	-	-	0,4125	2,5

Tabla 20. Resistencia por fuste y por punta de cada estrato. (Fuente: SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, 2017).

Se procede a continuación al cálculo del encepado necesario para la cimentación:

$$N_i + W = \frac{q_p * \frac{\pi * \phi^2}{4}}{F_{s,p}} + \frac{\sum \tau_{f,i} * \pi * \phi * L_i}{F_{s,f}}$$



Considerando como una primera aproximación que los pilotes llegan hasta el tercer estrato, se realiza un predimensionamiento de un pilote de diámetro  $\phi = 0,50 \text{ m}$  y con un valor de  $N_i$  de 404,83 kN obtenido anteriormente. Además, se considera inicialmente un encepado de dos pilotes, obteniendo la siguiente ecuación mediante la que se quiere conseguir como resultado la longitud ( $L$ ) de los pilotes a disponer en el encepado:

$$N_i + W = 404,83 + (25 * \frac{\pi * 0,50^2}{4} * L) = \frac{Q_{h,p}}{3} + \frac{Q_{h,f}}{1,5}$$

siendo:

$$Q_{h,p} = 412,5 * \frac{\pi * 0,50^2}{4}$$

$$Q_{h,f} = (33 * \pi * 0,50 * 6,50) + [35,5 * \pi * 0,50 * (L - 6,50)]$$

Se obtiene una longitud de pilote de  $L = 12,40 \text{ m}$ , por lo que se decide aumentar el diámetro del pilote a 0,6 m, con lo que el peso de un pilote y las cargas de hundimiento por punta y por fuste cambian según lo mostrado a continuación:

$$W = 25 * \frac{\pi * 0,60^2}{4} * L$$

$$Q_{h,p} = 2500 * \frac{\pi * 0,60^2}{4}$$

$$Q_{h,f} = (33 * \pi * 0,60 * 6,50) + [35,5 * \pi * 0,60 * (L - 6,50)]$$

Finalmente, aplicando la siguiente fórmula, se obtiene una longitud de pilote de 11 m.

$$N_i + W = 404,83 + (25 * \frac{\pi * 0,60^2}{4} * L) = \frac{Q_{h,p}}{3} + \frac{Q_{h,f}}{1,5}$$

Con todo ello, el resultado es un encepado cuyas dimensiones son: largo: 3,60 m; ancho: 1,80 m; canto: 1 m y está formado por 2 pilotes separados entre sí  $3 * \phi$  (eficiencia del 100%) =  $3 * 0,6 = 1,8 \text{ m}$ .

Se obtiene que:  $Q_{h,p} = 707 \text{ kN}$ ;  $Q_{h,f} = 705 \text{ kN}$ ;  $Q_h = 1412 \text{ kN}$ .

Se calcula a continuación el asiento inducido en este grupo de pilotes según la siguiente expresión del método elástico utilizada para cimentaciones superficiales y siguiendo el procedimiento de "Shallow and deep foundations in geotechnical engineering" (2018):

$$s = \frac{q * B_1 * (1 - \nu^2)}{E} * K$$

siendo:

$\nu$ : coeficiente de Poisson igual a 0,3.

$s$ : asiento de un pilote.

$$q = \frac{N}{B_1 * L_1} - q_0 = \frac{810}{1,65 * 6,6} - 19 * 3,5 = 7,88 \text{ kN/m}^2$$

$L_1$ : valor modificado del lado más largo del encepado.



$$L_1 = L_{group} * (1 - \alpha) * l_2 = 6,6 \text{ m.}$$

$B_1$ : valor modificado del lado más corto del encepado.

$$B_1 = B_{group} * (1 - \alpha) * l_2 = 1,65 \text{ m.}$$

$L_{group}$ : distancia entre partes externas de los pilotes del lado más largo del encepado. Es igual a, en este caso es de 2,40 m.

$B_{group}$ : distancia entre partes externas de los pilotes del lado más corto del encepado. Es igual a 0,60 m.

$l_2$ : longitud del pilote dentro del terreno, en este caso 11 m.

$\alpha$ : parámetro dependiente de la carga de hundimiento e igual a:

$$\alpha = \frac{1}{Q_h} * (0,50 * Q_{h,f} + Q_{h,p}) = 0,75$$

$A$ : área de la sección de pilote ( $\pi * \frac{\phi^2}{4} = \pi * \frac{0,50^2}{4} = 0,20 \text{ m}^2$ ).

$E$ : media ponderada aproximada del módulo de Young igual a  $9600 \text{ kN/m}^2$

$K$ : factor adimensional que depende la relación entre las dimensiones L y B del encepado. En este caso  $L=2,40 \text{ m}$  y  $B=0,60 \text{ m}$ . Para  $L/B=4$ , por lo que el valor del coeficiente es  $k=1,61$ .

Con todo ello se obtiene que  $s = 1 \text{ cm}$ . El asiento mínimo admisible es de  $5 \text{ cm}$ , por lo que el encepado cumple la condición por asiento.

Por lo que respecta a tope estructural, se debe cumplir la siguiente condición:

$$N_i \leq Q_{m\acute{a}x} = \sigma_{m\acute{a}x} * A_{pilote}$$

siendo  $\sigma_{m\acute{a}x} = 4 \text{ Mpa} = 4000 \text{ kPa}$ .

$$404,83 \leq 4000 * (\pi * 0,3^2); 404,83 \text{ kN} \leq 1131 \text{ kN}$$

Los pilotes cumplen por tope estructural.

Por lo que respecta al pandeo de la pila, al ser un elemento robusto, se considera que no se produce este efecto. La esbeltez límite es muy elevada y la pila se encuentra muy por debajo de esta.



## 8. REFERENCIAS

Torrijo Echarri, Francisco Javier; Garzón Roca, Julio. Shallow and deep foundations in geotechnical engineering (2018). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Accedido el 8 de junio de 2020.

Torrijo Echarri, Francisco Javier (2019). Obtención de parámetros geotécnicos para su aplicación de mecánica de suelos.

[https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA\\_12834\\_2019/BLOQUE%20IV%3A%20T%C3%89CNICAS%20DE%20RECONOCIMIENTO/Obtenci%C3%B3n%20par%C3%A1metros.pdf](https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_12834_2019/BLOQUE%20IV%3A%20T%C3%89CNICAS%20DE%20RECONOCIMIENTO/Obtenci%C3%B3n%20par%C3%A1metros.pdf). Accedido el 5 de junio de 2020.

Ministerio de Fomento (2009). Guía de cimentaciones en obras de carretera.

[https://www.mitma.es/recursos\\_mfom/0710401.pdf](https://www.mitma.es/recursos_mfom/0710401.pdf). Accedido el 11 de junio de 2020.

Portal de cartografía del Instituto Geológico y Minero de España, IGME (1972-2003): MAGNA 50. Mapa geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie).

[http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/pdfs/d7\\_G50/Magna50\\_722.pdf](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/pdfs/d7_G50/Magna50_722.pdf) Accedido el 27 de mayo de 2020.

SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA (2017). Proyecto de construcción del anillo verde metropolitano de Valencia. Tramo 2: Sedaví-Picanya. Accedido el 7 de junio de 2020.

Ministerio de Fomento (2009). Norma de construcción sismorresistente (NCSE-02).

[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/0820200.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0820200.pdf). Accedido el 12 de junio de 2020.

Ministerio de Fomento (2019). Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carretera y puentes.

[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/indice.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/indice.pdf). Accedido el 12 de junio de 2020.

Ministerio de Fomento (2008): Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07).

<https://apps.fomento.gob.es/CVP/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BN0223>. Accedido el 3 de julio de 2020.



---

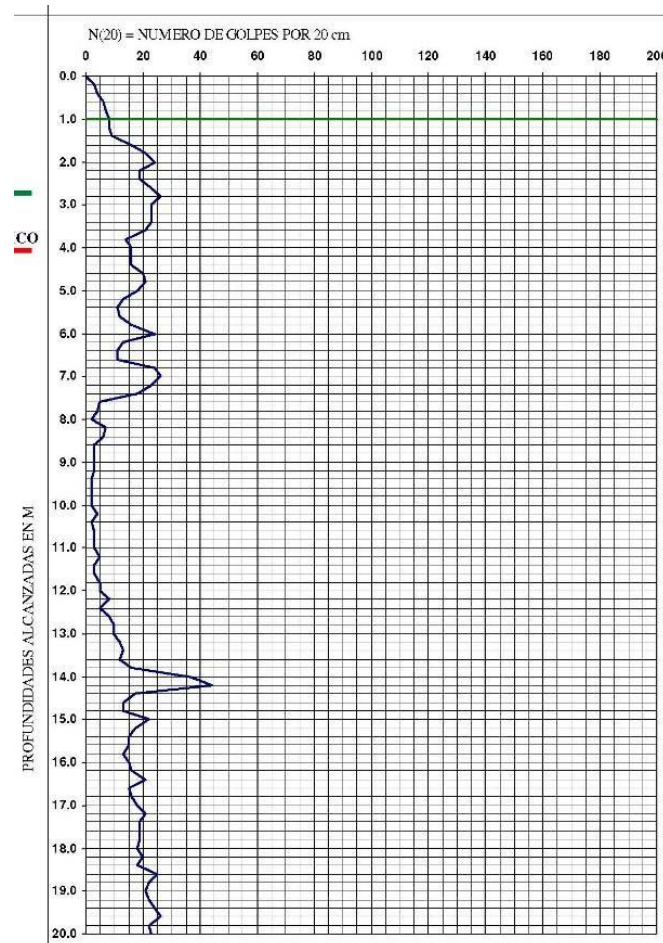
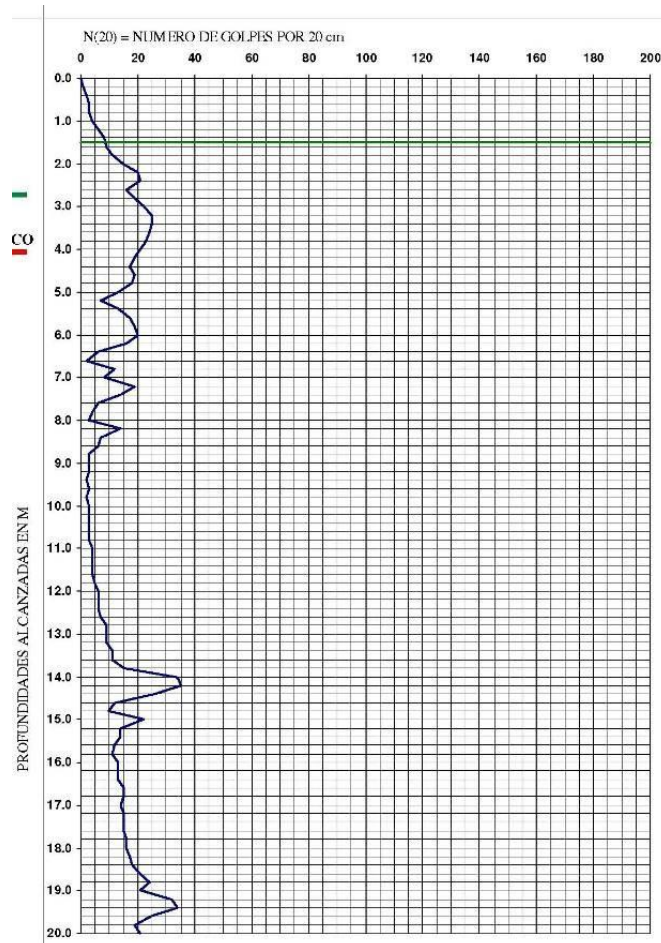
## *ANEXOS*

---





- Análisis documentación previa:
- Sondeos: PK 0+300 (100 m de la traza). Estudio geotécnico pista de Silla (penetraciones dinámicas).



ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- Investigación realizada:
- SONDEO SR-0+310:

SECCION VERTICAL TERRENO		NATURALEZA DEL TERRENO		MUESTRAS / ENSAYOS		w (%)		e (%)		q <sub>u</sub> (KPa)		L. Atterberg %		GRANULOMETRIA		QUIMICOS %		U.S.C.S.		Plus Hinch (KPa)		Hinch Libre (%)		Ensayo de Corte		Estimetro		Otros		
Profundidad (m)	SECCION VERTICAL TERRENO	NATURALEZA DEL TERRENO	TIPO	COBIS	RESULTADO	MO	CO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	LL	LP	LP	5	2	MO	SC <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	U.S.C.S.	Plus Hinch (KPa)	Hinch Libre (%)	C <sub>s</sub>	clase	Tipo	ρ <sub>u</sub> (t/m <sup>3</sup> )	φ <sub>u</sub> (°)	c <sub>u</sub>	Otros				
1.50		Resaca de liras, cantos y bolos, de tonalidad rosacenta.																												
1.50 - 1.80		Arcillas suavis vegetales. Arcilla limosa marrón oscura.																												
3.00-3.60			Mq	3.00-3.60	34/76				10.3	1.80	2.13	70	20.9	16.8	13.1	90	97	81												
3.60-4.20			SPT	3.60-4.20	12/93	3																								
6.70-7.00			Mq	6.70-7.00	32/46	7																								
7.00-7.60			SPT	7.00-7.60	32/46	7																								
10.00-10.20		Arcillas limosas de consistencia media y plasticidad baja. Tonalidad marrón claro. Espigas rosadas, en algunos casos muy abundantes (por aparte de 10.00 a 10.50m) Presencia de arenas en torno a los 11 m. A muro presenta tonalidad beige.																												
12.00-12.60			Mq	12.00-12.60	12/172020	8			11.6	1.87	2.09	115	22.6	14.1	8.5	100	90	90												
12.60-13.20			SPT	12.60-13.20	67/67	13																								
14.80-15.40			SPT	14.80-15.40	45/9	14																								
17.20-17.80		Arenas limosas																												
19.40-20.00			SPT	19.40-20.00	101/115117	26																								

LEYENDA PERFORACION	LEYENDA MUESTRAS	LEYENDA ENSAYOS IN SITU	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIPO RELLENO DE DISCONTINUIDAD	Observaciones:
A : A VANCE R : REVESTIMIENTO W : CORONA DE WEDER D : CORONA DE DRAMANTE B : BATERIA SIMPLE T : BATERIA DOBLE R : ROTACION 101 : DIAMETRO PERFORACION (mm)	Mq : TOMA MUESTRAS PARED GRUESA Sm : TOMA MUESTRAS PARED DELGADA MFA : MUESTRA PASAPALNADA MA : MUESTRA AL TERGADA TR : TESTIGO ROCK AGU : MUESTRA DE AGUA	SPT : PENETRACION ESTANDAR SPTf : PENETRACION ESTANDAR PUNTAZA CIEGA Lef : PERMEABILIDAD LUGER Lag : PERMEABILIDAD LUGER Pen : ENSAYO PRESIOMETRICO VT : VANE TEST EN SONDEO PB : PENETROMETRO DE BOLSEJO TBY : TORNAVE DE BOLSEJO	R : ESTRATIFICACION J : JUNTA V : VENDA F : FALLA Q : ESQUELOSIDAD	CL : CALCEA BR : BRICERIA ARC : ARCILLA AR : ARENA SEL : SELIC ARG : ARGILTA	



- SONDEO SR-0+310.  
Ensayos de laboratorio:

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SORREJA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



**SONDEOS, ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, S.L.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Telf. 96 159 07 40 - Fax. 96 159 13 97  
C/ Camp de Turia, 51 Pol.Industrial Bovalet. 46970-ALAIQUÀS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-saes

Laboratorio de Ensayos A CREDITADO por la Comissió de Mètodes A més de, a gran Urbana i Veritat en les àrees de: EHA, Nº 070581408 (B), VSC, Nº 070395408 (B), CTC, Nº 070581408 (B), CTE, Nº 070581408 (B), IAS, Nº 070581408 (B), IAP, Nº 070581408 (B), per Resolució de 07/10/08, publicada en el DOCV 26/1/08, o inscrita en el RCL.EA, publicada en el BOE 16/08/04. Miembro de la Asociación Española de Ensayos de Construcción (A.E.E.C.) Nº 0112. EMPRESA CERTIFICADA EN ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 Y UNE 16002 POR AENOR.

MODALIDAD CONTROL	CO ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITECO	C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Alcobendas (Alcobendas)	CONSTRUCTOR	N/A		
TIPO MATERIAL	MUESTRA INALTERADA	PROCEDECIA	S-0+310 (3.00m.)		
MODALIDAD MUESTREO	MP PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD.IDENTIF. MUESTRA	284,635

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS Nº: 459439

Fecha Fin Ensayo : 13/12/17 Hoja 1 de 2

**APERTURA DE LA MUESTRA**

**ASTM-D-2487/00**

RESISTENCIA PENETROMETRO MANUAL (TIPO SOILTEST) : **5 Kg/cm²**

L: 40.0 cm.

D: 7.0 cm.

Nº DE MUESTRAS DIFERENCIADAS

**1**

MUESTRA	OBSERVACIONES Y DATOS COMPLEMENTARIOS DE LA MUESTRA
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">A</div> 40.0 cm. 	Suelo arcilloso con nodulos. Marrón.
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">B</div>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">C</div>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">D</div>	

RESISTENCIA PENETROMETRO MANUAL (TIPO SOILTEST) : **2.5 Kg/cm²**

**1 COPIA A:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros

F-LGTL-(07/09/12)B.3

LABORATORIO GENERAL DE ENFERMERIA LAMISTIN SUELO A BRUNO

ESTERILIZACION GENERAL DE LOS SOLOS DEBE SER REALIZADO CON ATENCION DEL LABORATORIO

Alaquàs, 13 de diciembre de 2017

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL



- Ensayo de resistencia a compresión simple:

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOPORTE LA CARRETERA DE LOS CALINEROS (VALENCIA)



	<b>SONDEOS, ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, S.L.</b>					
	LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: C/ Camp de Turia, 51 Pol.Industrial Bovalar. 46970-ALAJUÁS (VALENCIA)			Telf. 96 159 07 40 - Fax.96 159 13 97 e-mail: Laboratorio@seg-saes		
Laboratorio de Ensayos A CREDITADO por la Comodidad de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda en las áreas de: EHA, Nº 070381408 (R), YSC, Nº 070359308 (R), CTC, Nº 070307008 (R), GTL, Nº 070350708 (R), RAS, Nº 070305408 (R), RAA, Nº 070305408 (R), por Resolución de 17/10/08, publicada en el DOGV 26719/08, e inscrita en el RCLJA, publicada en el BOC 16/09/04 Miembro de la Asociación Española de Ensayos de Materiales (A.E.N.D.) Nº 0112 EMPRESA CERTIFICADA EN ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 Y UNE 16602 POR AENOR.						
MODALIDAD CONTROL	CO	ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITECO		C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Alcobendas (Alcobendas)		CONSTRUCTOR	N/A		
TIPO MATERIAL	MUESTRA INALTERADA	PROCEDENCIA	S-0+310 (3.00m.)			
MODALIDAD MUESTREO	MP	PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD. IDENTIF. MUESTRA	284,635

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS ACREDITADOS Nº: 459439 Hoja 2 de 2  
Fecha Fin Ensayo : 13/12/17

**RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE ; MUESTRA - A**  
**UNE-103400/93 UNE-103300/93 UNE-103301/94**

DIAMETRO	7.0 cm	ALTURA	12.7 cm	AREA	38.5 cm²	VOLUMEN	488.8 cm³
----------	--------	--------	---------	------	----------	---------	-----------

DENSIDAD SECA	GR/CM³	1.80	CARGA	KN	0.31
DENSIDAD HUMEDA O NATURAL	GR/CM³	2.13	RESISTENCIA	KPa	70
HUMEDAD	%	18.3	DEFORMACION A LA ROTURA	%	14.2

**OBSERVACIONES:**

<b>DATOS COMPLEMENTARIOS:</b>			
$\Delta \sigma$	KPa	DEFORMACION UNITARIA	MM
		MODULO DE ELASTICIDAD	KPa
		DEFORMACION A LA ROTURA	MM
			18.0

**1 COMPA:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros

F-LGTL-(07/08/12)B.3

Alajúas, 13 de diciembre de 2017

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL


LOS RESULTADOS SOLO SE REFIEREN A LA MUESTRA IDENTIFICADA EN ESTE ACTA Y SON DE RESULTADOS SOLO SE REFIEREN RESULTADOS CON AUTORIZACION DE LABORATORIO



ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- Granulometría por tamizado.  
Muestra SPT:



**SONDEOS, ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, S.L.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Tel: 96 159 07 40 - Fax: 96 159 13 97  
C/ Camp de Turis, 51 Pol.Industrial Bovalet. 46970-ALAUÀS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-sa.es

Laboratorio de Ensayos Acreditado por la Comisión de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda en los ámbitos de: EHA, Nº 07013EHA08 (B), VSG, Nº 07013VSG1606 (B), CTC, Nº 07013CTC0606 (B), CIL, Nº 07013CTC0606 (B), EAS, Nº 07013EAS0606 (B), EAE, Nº 07013EAE0606 (B), por Resolución de 17/10/08, publicada en el DOGV 26/11/08, e inscrita en el R.C.E.A. publicada en el BOE 16/08/04. Miembro de la Asociación Española de Ensayos en Construcción (A.E.E.C.) Nº 0112. EMPRESA CERTIFICADA EN ISO-9001, ISO-14001, OHSAS 18001 Y UNE 16001 POR AENOR.

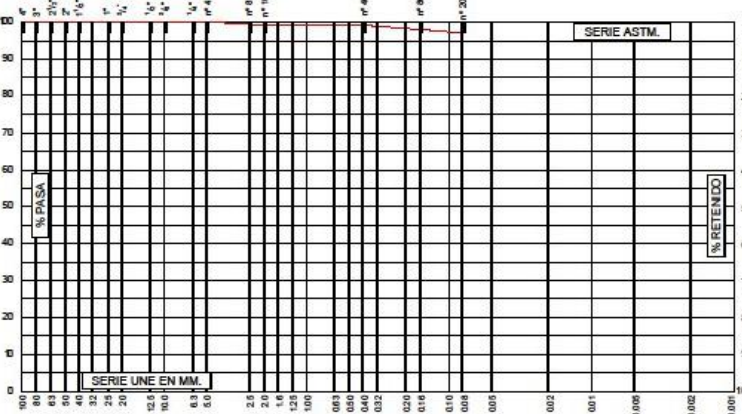
MODALIDAD CONTROL	CO ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITECO	C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Alcobendas (Alcobendas)	CONSTRUCTOR	N/A		
TIPO MATERIAL	MUESTRA SPT	PROCEDENCIA	S-D+310 (7.00m.)		
MODALIDAD MUESTREO	MP PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD.IDENTIF. MUESTRA	284,636

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS Nº: 459443

Fecha Fin Ensayo : 13/12/17 Hoja 1 de 1

**GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE-103101/95)**

RESULTADOS SUELOS DE REFERENCIA Y MATERIALES DE REFERENCIA  
 ENTRE RESULTADOS SUELOS DE REFERENCIA Y MATERIALES DE REFERENCIA



TAMICES	100	80	63	50	40	25	20	12.5	10	6.3	5.0	2.0	1.25	0.40	0.16	0.080
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	98	97

**DATOS COMPLEMENTARIOS : (Granulometric)**

<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>	
Limite Líquido (UNE-103103/94)	31.3
Media Limite Plástico (UNE-103104/93)	15.6

**DATOS COMPLEMENTARIOS : (Límites Atterberg)**

Indice de Plasticidad (UNE-103104/93)	15.7
---------------------------------------	------

**OBSERVACIONES: (Granulometric)**

<b>CLASIFICACION</b>	
Casagrande	CL
H.R.B.	A6
Indice de Grupo	10

**OBSERVACIONES: (Límites Atterberg)**

**1 COPIA:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros

Alauàs, 13 de diciembre de 2017

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL



ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- Granulometría por tamizado.  
Muestras inalteradas (M.I.):

**SEG** **SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA S.L.**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Tel: 96 159 07 40 - Fax: 96 159 13 97  
C/ Camp de Turis, 51 Pol. Industrial Bevalar, 46970-ALAJUÁS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-sa.es

1 Laboratorio de Ensayos ACREDITADO por la Comisi6n de M6dulo, Agua, Drenaje y Vivienda en las areas de: EBA, N° 0703EHA08 (B), VSG, N° 0703VSG08 (B), CTC, N° 0703CTC08 (B), CTE, N° 0703CTE08 (B), EAS, N° 0703EAS08 (B), EAF, N° 0703EAF08 (B), por Resoluci6n de 17/10/08, publicada en el DOGV 26/11/08, e inscrita en el R.C.L.E.A., publicada en el BOE 16/08/04. Miembro de la Asociaci6n Espa~ola de Ensayos de Construcci6n (A.E.N.C.) N° 0112. EMPRESA CERTIFICADA EN ISO-9001, ISO-14001, OHSAS 18001 Y UNE 16002 FOR AENOR.

MODALIDAD CONTROL	CO	ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITECO		C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda n° 6 Polg. Ind. Alcobendas (Alcobendas)		CONSTRUCTOR	N/A		
TIPO MATERIAL	MUESTRA INALTERADA	PROCEDENCIA	S-0+310 (3.00m.)			
MODALIDAD MUESTREO	MP	PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD. IDENTIF. MUESTRA	284,635

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS N°: 459440  
Fecha Fin Ensayo : 13/12/17 Hoja 1 de 1

**GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE-103101/95)**

TAMICES	100	80	63	50	40	25	20	12.5	10	6.3	5.0	2.0	1.25	0.40	0.16	0.080
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	97	96	88	73	61

<b>DATOS COMPLEMENTARIOS : (Granulometrico)</b>		<b>OBSERVACIONES : (Granulometrico)</b>	
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>		<b>CLASIFICACION</b>	
Límite Líquido (UNE-103103/94)	29.9	Casagrande	CL
Media Límite Plástico (UNE-103104/93)	16.6	H.R.B.	A6
<b>DATOS COMPLEMENTARIOS : (Límites Atterberg)</b>		Indice de Grupo	
Indice de Plasticidad (UNE-103104/93)	13.1	6	
<b>OBSERVACIONES : (Límites Atterberg)</b>			

**1 COPIA:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros  F-LGTL-(02/06)B.2  
Alajúas, 13 de diciembre de 2017 RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL

**SEG** **SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA S.L.**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Tel: 96 159 07 40 - Fax: 96 159 13 97  
C/ Camp de Turis, 51 Pol. Industrial Bevalar, 46970-ALAJUÁS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-sa.es

1 Laboratorio de Ensayos ACREDITADO por la Comisi6n de M6dulo, Agua, Drenaje y Vivienda en las areas de: EBA, N° 0703EHA08 (B), VSG, N° 0703VSG08 (B), CTC, N° 0703CTC08 (B), CTE, N° 0703CTE08 (B), EAS, N° 0703EAS08 (B), EAF, N° 0703EAF08 (B), por Resoluci6n de 17/10/08, publicada en el DOGV 26/11/08, e inscrita en el R.C.L.E.A., publicada en el BOE 16/08/04. Miembro de la Asociaci6n Espa~ola de Ensayos de Construcci6n (A.E.N.C.) N° 0112. EMPRESA CERTIFICADA EN ISO-9001, ISO-14001, OHSAS 18001 Y UNE 16002 FOR AENOR.

MODALIDAD CONTROL	CO	ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITECO		C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda n° 6 Polg. Ind. Alcobendas (Alcobendas)		CONSTRUCTOR	N/A		
TIPO MATERIAL	MUESTRA INALTERADA	PROCEDENCIA	S-0+310 (12.00m.)			
MODALIDAD MUESTREO	MP	PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD. IDENTIF. MUESTRA	284,637

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS N°: 459445  
Fecha Fin Ensayo : 13/12/17 Hoja 1 de 1

**GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE-103101/95)**

TAMICES	100	80	63	50	40	25	20	12.5	10	6.3	5.0	2.0	1.25	0.40	0.16	0.080
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	90

<b>DATOS COMPLEMENTARIOS : (Granulometrico)</b>		<b>OBSERVACIONES : (Granulometrico)</b>	
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>		<b>CLASIFICACION</b>	
Límite Líquido (UNE-103103/94)	22.6	Casagrande	CL
Media Límite Plástico (UNE-103104/93)	14.1	H.R.B.	A4
<b>DATOS COMPLEMENTARIOS : (Límites Atterberg)</b>		Indice de Grupo	
Indice de Plasticidad (UNE-103104/93)	8.5	8	
<b>OBSERVACIONES : (Límites Atterberg)</b>			

**1 COPIA:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros  F-LGTL-(02/06)B.2  
Alajúas, 13 de diciembre de 2017 RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL





- Resultados de las muestras:

	W	$\gamma_d$	$\gamma$	Qu	Límites de Atterberg			Granulometría.			Clasif	SO <sub>4</sub>
	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(kPa)	LL	LP	IP	#5	#2	#0.08		(%)
<b>MI (3.00-3.60) m</b>	18.3	1.80	2.13	70	29.9	16.8	13.1	99	97	61	CL	0.03
<b>SPT (7.00-7.60) m</b>					31.3	15.6	15.7	100	99	97	CL	
<b>MI (12.00-12.60) m</b>	11.6	1.87	2.09	115	22.6	14.1	8.5	100	99	90	CL	

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- SONDEO SR-0+420:

SEG Ingeniería		GRAFICO DE SONDEOS Y ENSAYOS DE LABORATORIO		Tipo Maquina	ANDALUCIA 850.60	Controla:	R.FAUS	UTM X:	0.000	S-0+420														
Estudio: ANILLO VERDE METROPOLITANO DE VALENCIA. TRAMO 2: SEDAVI-PICANYA				Fecha Inicio:	07 - noviembre - 2017	Sondista:	V.NAVARRO	UTM Y:	0.000	Hoja 1 de 1														
				Fecha Fin:	07 - noviembre - 2017	Nivel Fréatico:	3.1	UTM Z:	0.000	REF SEG: 2017-119-2														
Estratificación	SECCION VERTICAL TERRENO	NATURALEZA DEL TERRENO	MUESTRAS / ENSAYOS		w (%)	d <sub>10</sub> (mm)	d <sub>60</sub> (mm)	Q <sub>u</sub> (KPa)	L. Atterberg %			GRANULOMETRIA		QUIMICOS %		U.S.C.S	Pres Hinch (KPa)	Hinch (N)	C <sub>s</sub>	Ensayo de Corte		Estimado		Otros
			TPO	COTAS					RESULTADO	NºS	L.L.	L.P.	I.P.	5	2					0.08	MO	SO <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	
		Rellenos de limos sobre zahorras (graves con arenas)																						
		1.50																						
		2.50																						
		2.50-3.20	Mlg	2.00-2.60	3/4/5/6																			
		2.60-3.20	SPT	2.60-3.20	25/3/2	5																		
		2.50-5.60	Mlg	5.00-5.60	6/14/17/17	11.2	2.02	2.25	130	20.1	11.1	9.0	94	89	62							2.600		0.340
		5.60-6.20	SPT	5.60-6.20	6/6/9/8	12																		
		6.00-8.60	Mlg	8.00-8.60	6/9/7/8																			
		8.60-9.20	SPT	8.60-9.20	3/2/4/4	6																		
		11.00-11.60	SPT	11.00-11.60	3/4/6/6	10																		
		13.60-14.20	Mlg	13.60-14.20	5/6/10/9	21.4				NP	NP	NP	80	82	42									
		14.20-14.80	SPT	14.20-14.80	3/7/9/10	16																		
		16.60-17.20	SPT	16.60-17.20	16/21/29/25	46																		
		19.40-20.00	SPT	19.40-20.00	5/5/7/8	12																		


LEYENDA PERFORACION	LEYENDA MUESTRAS	LEYENDA ENSAYOS IN SITU	TIPO DE DISCONTINUIDAD	TIPO RELLENO DE DISCONTINUIDAD	Observaciones:
A : AVANCE R : REVESTIMIENTO W : CORONA DE WIDIA D : CORONA DE DIAMANTE B : BATERIA SIMPLE T : BATERIA DOBLE R : ROTACION 101 : DIAMETRO PERFORACION (mm)	Mlg : TOMA-MUESTRAS PARED GRUESA Slt : TOMA-MUESTRAS PARED DELGADA MPA : MUESTRA PARA IMPADA MA : MUESTRA ALTERNADA TR : TESTIGO ROCA AGU : MUESTRA DE AGUA	SPT : PENETRACION ESTANDAR SPTc : PENETRACION ESTANDAR PUNTAZA CIBGA Lef : PERMEABILIDAD LEFRA NC Lag : PERMEABILIDAD LIEGION Pes : ENSAYO PRESIOMETRICO VT : VANH TEST EN SONDEO PB : PENETROMETRO DE BOLSEILLO TRV : TORVANE DE BOLSEILLO	B : ESTRATIFICACION J : JUNTA V : VENA F : FALLA Q : ESQUISTOSIDAD	CC : CALCITA BR : BRICHA ARC : ARCILLA ARE : ARENA SIL : SILICI ARG : ARGILITA	Datos Complementarios:



ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- SONDEO SR-0+420.  
Ensayos de laboratorio:



**SONDEOS, ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, S.L.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Tel: 96 159 07 40 - Fax: 96 159 13 97  
C/ Camp de Turia, 51 Pol. Industrial Bovalar. 46170-ALAIQUÀS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-saes

Laboratorio de Ensayos A CREDITADO por la Comissiória de Mitjàs de Anàlisi, Agra, Urbanisme y Urbanisme y Urbanisme en las Ins: de EDA, Nº 07/03/2014/08 (B), Vasc. Nº 07/03/2014/08 (B), C.T.C. Nº 07/03/2014/08 (B), G.T.L. Nº 07/03/2014/08 (B), B.A.S. Nº 07/03/2014/08 (B), R.A.P. Nº 07/03/2014/08 (B), per Resolució de 17/1/09, publicada en el DOGV 26/1/09, o inclusión en el R.C.E.A., publicación de B.O.E 16/08/04  
Miembro de la Asociación Española de Ensayos de Materiales (A.E.N.E.) Nº 0112.  
EMPRESA CERTIFICADA EN ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 Y UNE 16002 POR AENOR.

MODALIDAD CONTROL	CO ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITEGO	C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Aloobendas (Aloobendas)	CONSTRUCTOR	N/A		
TIPO MATERIAL	MUESTRA INALTERADA	PROCEDENCIA	S-0+420 (5,00m.)		
MODALIDAD MUESTREO	MP PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD.IDENTIF. MUESTRA	284.633

**ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS Nº: 459434**

Fecha Fin Ensayo : 13/12/17 Hoja 1 de 2

**APERTURA DE LA MUESTRA**

**ASTM-D-2487/00**

**RESISTENCIA PENETROMETRO MANUAL (TIPO SOILTEST) :** 3.7 Kg/cm<sup>2</sup>

L: 48.0 cm.

D: 7.0 cm.

Nº DE MUESTRAS DIFERENCIADAS : 1

MUESTRA	OBSERVACIONES Y DATOS COMPLEMENTARIOS DE LA MUESTRA
A	48.0 cm. Suelo Arcilloso con nodulos. Marrón
B	
C	
D	

**RESISTENCIA PENETROMETRO MANUAL (TIPO SOILTEST) :** 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>

**1 COPIA A:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros

F-LGTL-(07/09/12)B.3

Alaiquàs, 13 de diciembre de 2017

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL

PA-4492

LORREBILITACIÓ D'ENGINYERIA I ARQUITECTURA I BARRIO

ESTRUCTURAS I GEOTECNIA I ENGENYERIA DE BARRIO

32

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- Ensayo de resistencia a compresión simple:

**SONDEOS, ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, S.L.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Telf. 96 159 07 40 - Fax.96 159 13 97  
C/ Camp de Turia, 51 Pol.Industrial Bovalar. 46970-ALAIQUÁS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-saes

LABORATORIO DE ENSAYOS A CREDITADO por la Comisión de Mide de A más 96, A para, Urbisama y Viriom en las áreas de: EDIA, Nº 07 (03/10/08) (R), VICE, Nº 07 (03/10/08) (R), CTE, Nº 07 (03/10/08) (R), CTE, Nº 07 (03/10/08) (R), BAE, Nº 07 (03/10/08) (R), SAE, Nº 07 (03/10/08) (R), por Resolución de 17/10/08, publicada en el DOGV 2911/08, e inscrita en el R.O.L.E.A., publicada en el B.O.E. 16/08/04  
Miembro de la Asociación Española de Ensayos de Materiales (A.E.N.D.) Nº 0112  
EMPRESA CERTIFICADA EN ISO 9001, ISO 14001, CENAS 10001 Y UNE 16602 POR AENOR.

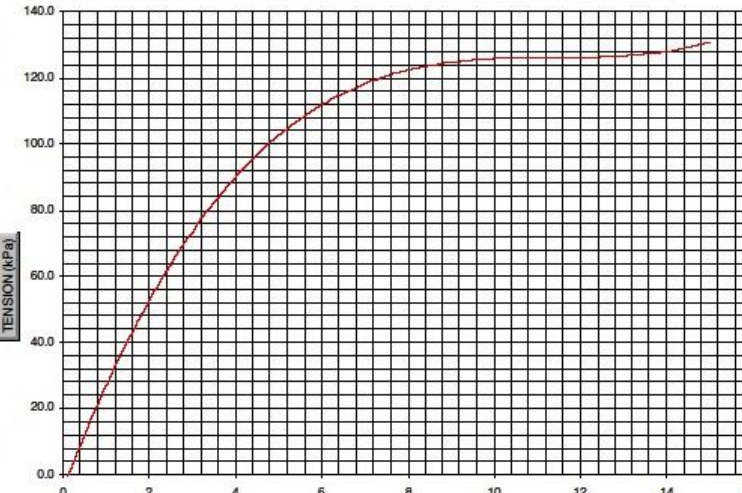
MODALIDAD CONTROL	CO	ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITECO		C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Alcobendas (Alcobendas)	CONSTRUCTOR	N/A			
TIPO MATERIAL	MUESTRA INALTERADA	PROCEDENCIA	S-D+420 (5.00m.)			
MODALIDAD MUESTREO	MP	PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD. IDENTIF. MUESTRA	284,633

**ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS ACREDITADOS Nº: 459434** Hoja 2 de 2  
Fecha Fin Ensayo : 13/12/17

**RESISTENCIA COMPRESION SIMPLE ; MUESTRA - A**  
**UNE-103400/93 UNE-103300/93 UNE-103301/94**

DIAMETRO	7.0 cm	ALTURA	14.0 cm	AREA	38.5 cm <sup>2</sup>	VOLUMEN	538.8 cm <sup>3</sup>
----------	--------	--------	---------	------	----------------------	---------	-----------------------

DENSIDAD SECA	GR/CMP	2.02	CARGA	KN	0.58
DENSIDAD HUMEDA O NATURAL	GR/CMP	2.25	RESISTENCIA	KPa	130
HUMEDAD	%	11.2	DEFORMACION A LA ROTURA	%	15.0



**OBSERVACIONES:**

<b>DATOS COMPLEMENTARIOS:</b>			
$\Delta \sigma$	KPa	DEFORMACION UNITARIA	—
		MODULO DE ELASTICIDAD	KPa
		DEFORMACION A LA ROTURA	MM 21.0

**1 COPIA:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros  F-LGTL-(07/08/12)B.3


Alaquàs, 13 de diciembre de 2017

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- Granulometría por tamizado.  
Muestra SPT:



**SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA, S.L.**

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Teléf. 96 159 07 40 - Fax: 96 159 13 97  
C/ Camp de Turia, 51 Pol.Industrial Boverar, 46970-ALAUQUAS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-sa.es

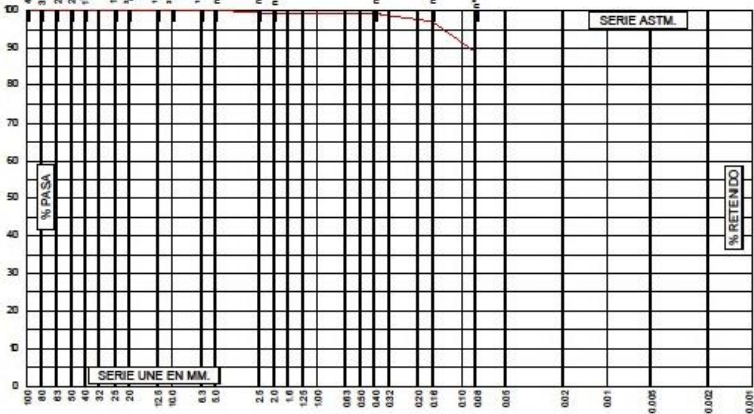
Laboratorio de Ensayos ACREDITADO por la Comissió de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Vivienda en les àrees de: EHA, N° 0703SEHA08 (B), VSG, N° 0703SVSG108(B), CTC, N° 0703CTC08(B), CIL, N° 0703CIL08(B), EAS, N° 0703EAS08(B), EAP, N° 0703EAP08 (B), per Resolució de 17/10/08, publicada en el DOG 12/25/11/08, e inscrita en el R.G.E.A. publicada en el BOE 16/08/04. Miembro de la Asociación Española de Ensayos de Materiales (A.E.N.D.) (N° 0112). EMPRESA CERTIFICADA EN ISO-9001, ISO-14001, OHSAS 18001 Y UNE 16002 POR AENOR.

MODALIDAD CONTROL	CO ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2	CLAVE	094/7437	F. TOMA	22/11/17
PETICIONARIO	OFITECO	C.I.F.	A-28270122	F. REGISTRO	27/11/17
DOMICILIO	C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Alcobendas (Alcobendas)	CONSTRUCTOR	N/A		
TIPO MATERIAL	MUESTRA SPT	PROCEDENCIA	S-0+420 (2.60m.)		
MODALIDAD MUESTREO	MP PETICIONARIO.	O.T.N.	17119	COD.IDENTIF. MUESTRA	284,632

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS Nº: 459432

Fecha Fin Ensayo : 13/12/17 Hoja 1 de 1

**GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE-103101/95)**



TAMICES	100	80	63	50	40	25	20	12.5	10	6.3	5.0	2.0	1.25	0.40	0.16	0.080
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	97	89

**DATOS COMPLEMENTARIOS : (Granulométrico)**

Suelo arcilloso. Marrón claro

**OBSERVACIONES : (Granulométrico)**

**LIMITES DE ATTERBERG**

Límite Líquido (UNE-103103/94)	28.5
Media Límite Plástico (UNE-103104/93)	14.4

**DATOS COMPLEMENTARIOS : (Límites Atterberg)**

Índice de Plasticidad (UNE-103104/93)	14.1
---------------------------------------	------

**CLASIFICACION**

Casagrande	CL
H.R.B.	A6
Índice de Grupo	10

**OBSERVACIONES : (Límites Atterberg)**

**ICOMA**: Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros

Alaquàs, 13 de diciembre de 2017 F-LGTL-(02/05)B.2

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL





ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



- Granulometría por tamizado.  
Muestras inalteradas (M.I.):

**SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA S.L.**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Telf: 96 159 07 40 - Fax: 96 159 13 97  
C/ Camp de Turia, 51 Pol.Industrial Boveral. 46970-ALAJUÁS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-sa.es

Modalidad Control: **CO** ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2 CLAVE: 094/7437 F. TOMA: 22/11/17  
Peticionario: OFITECO C.I.F. A-28270122 F. REGISTRO: 27/11/17  
Domicilio: C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Alco bendas (Alcobendas) CONSTRUCTOR N/A  
Tipo Material: MUESTRA INALTERADA PROCEDENCIA: S-0-420 (5,00m.)  
Modalidad Muestreo: **MP** PETICIONARIO. O.T.N. 17119 COD. IDENTIF. MUESTRA: 284,633

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS Nº: 459435  
Fecha Fin Ensayo: 13/12/17 Hoja 1 de 1  
**GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE-103101/95)**

TAMICES	100	80	63	50	40	25	20	12.5	10	6.3	5.0	2.0	1.25	0.40	0.16	0.080
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	99	96	94	89	87	81	73	62

<b>DATOS COMPLEMENTARIOS: (Granulométrico)</b>		<b>OBSERVACIONES: (Granulométrico)</b>	
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>		<b>CLASIFICACION</b>	
Límite Líquido (UNE-103103/94)	20.1	Casagrande	CL
Media Límite Plástico (UNE-103104/93)	11.1	H.R.B.	A4
<b>DATOS COMPLEMENTARIOS: (Límites Atterberg)</b>		Índice de Grupo	
Índice de Plasticidad (UNE-103104/93)	9.0	5	
<b>OBSERVACIONES: (Límites Atterberg)</b>			

**1 COPIA:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros  F.-LGTL-(02/06)B.2  
Alajúas, 13 de diciembre de 2017

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL

**SONDEOS ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA S.L.**  
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION: Telf: 96 159 07 40 - Fax: 96 159 13 97  
C/ Camp de Turia, 51 Pol.Industrial Boveral. 46970-ALAJUÁS (VALENCIA) e-mail: Laboratorio@seg-sa.es

Modalidad Control: **CO** ANILLO VERDE METROPOLITANO: TRAMO-2 CLAVE: 094/7437 F. TOMA: 22/11/17  
Peticionario: OFITECO C.I.F. A-28270122 F. REGISTRO: 27/11/17  
Domicilio: C/Sepulveda nº 6 Polg. Ind. Alco bendas (Alcobendas) CONSTRUCTOR N/A  
Tipo Material: MUESTRA INALTERADA PROCEDENCIA: S-0-420 (13,60m.)  
Modalidad Muestreo: **MP** PETICIONARIO. O.T.N. 17119 COD. IDENTIF. MUESTRA: 284,634

ACTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS Nº: 459438  
Fecha Fin Ensayo: 13/12/17 Hoja 1 de 1  
**GRANULOMETRIA DE SUELOS POR TAMIZADO (UNE-103101/95)**

TAMICES	100	80	63	50	40	25	20	12.5	10	6.3	5.0	2.0	1.25	0.40	0.16	0.080
% PASA	100	100	100	100	100	100	100	100	97	92	89	82	80	68	52	42

<b>DATOS COMPLEMENTARIOS: (Granulométrico)</b>		<b>OBSERVACIONES: (Granulométrico)</b>	
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>		<b>CLASIFICACION</b>	
Límite Líquido (UNE-103103/94)		Casagrande	SM
Media Límite Plástico (UNE-103104/93)		H.R.B.	A4
<b>DATOS COMPLEMENTARIOS: (Límites Atterberg)</b>		Índice de Grupo	
Índice de Plasticidad (UNE-103104/93)	N.P.	1	
<b>OBSERVACIONES: (Límites Atterberg)</b>			

**1 COPIA:** Propiedad  Dirección Obra  Constructora  O.C.T.  Otros  F.-LGTL-(02/06)B.2  
Alajúas, 13 de diciembre de 2017

RESPONSABLE AREA GTL  
JOSE IGNACIO CANTERO GARCIA  
INGENIERO INDUSTRIAL





- Resultados de las muestras:

	W	$\gamma_d$	$\gamma$	Qu	Límites de Atterberg			Granulometría.			Clasif	SO <sub>4</sub>
	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(kPa)	LL	LP	IP	#5	#2	#0.08		(%)
<b>SPT (2.60-3.20) m</b>					28.5	14.4	14.1	100	99	89	CL	0.03
<b>MI (5.00-5.60) m</b>	11.2	2.02	2.25	130	20.1	11.1	9.0	94	89	62	CL	
<b>MI (13.60-14.20) m</b>	21.4				NP	NP	NP	89	82	42	SM	

---

## *ANEJO N.º 3: JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE LAS ALTERNATIVAS*

---

PRESENTADO POR: MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: VÍCTOR YEPES PIQUERAS

COTUTOR: JULIÁN ALCALÁ GONZÁLEZ

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

1.	GENERALIDADES.....	6	3.2.2.	ALTERNATIVA 2 .....	25
1.1.	OBJETO DEL PRESENTE DOCUMENTO .....	6	3.2.2.1.	SOBRECARGA DE USO .....	25
1.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS PASARELAS .....	6	3.2.2.2.	VIENTO .....	26
2.	BASES DE CÁLCULO .....	6	3.2.2.3.	ACCIÓN TÉRMICA .....	29
2.1.	NORMATIVA APLICADA .....	7	3.2.3.	ALTERNATIVA 3 .....	30
2.2.	MATERIALES EMPLEADOS .....	7	3.2.3.1.	SOBRECARGA DE USO .....	30
2.3.	COEFICIENTES DE SEGURIDAD .....	9	3.2.3.2.	VIENTO .....	30
2.3.1.	ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU).....	9	3.2.3.3.	ACCIÓN TÉRMICA .....	32
2.3.2.	ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (ELS) .....	9	3.2.4.	ALTERNATIVA 4 .....	34
2.4.	COMBINACIONES DE ACCIONES .....	10	3.2.4.1.	SOBRECARGA DE USO .....	34
2.4.1.	COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELU.....	10	3.2.4.2.	VIENTO .....	34
2.4.2.	COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELS .....	11	3.2.4.3.	ACCIÓN TÉRMICA .....	37
3.	ACCIONES .....	12	4.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	38
3.1.	ACCIONES PERMANENTES (G) .....	12	4.1.	MODELO DE CÁLCULO EMPLEADO.....	38
3.1.1.	PESO PROPIO .....	12	4.1.1.	ALTERNATIVAS 1,2 Y 4.....	38
3.1.2.	CARGAS MUERTAS.....	12	4.1.2.	ALTERNATIVA 3 .....	43
3.2.	ACCIONES VARIABLES (Q).....	14	4.2.	PROGRAMAS UTILIZADOS .....	45
3.2.1.	ALTERNATIVA 1.....	14	5.	HIPÓTESIS DE CARGA .....	46
3.1.1.1.	SOBRECARGA DE USO.....	14	6.	COMPROBACIONES RESISTENTES .....	47
3.1.1.2.	VIENTO .....	15	6.1.	ALTERNATIVA 1 .....	47
3.1.1.3.	ACCIÓN TÉRMICA.....	21	6.1.1.	COMPROBACIONES ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU) .....	47
			6.1.2.	COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO .....	74



6.1.3.	PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO .....	75	6.4.4.1.	CARA DE TRACCIÓN .....	134
6.1.4.	CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS .....	77	6.4.4.2.	CARA DE COMPRESIÓN .....	135
6.2.	ALTERNATIVA 2.....	77	6.4.5.	RECUBRIMIENTO MÍNIMO Y SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE ARMADURAS.....	138
6.2.1.	COMPROBACIONES ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU).....	77	6.4.6.	LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPO.....	139
6.2.2.	COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO .....	99	6.4.7.	PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO....	140
6.2.3.	PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO ...	100	6.4.8.	CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS .....	141
6.2.4.	CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS .....	101	7.	SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA .....	141
6.3.	ALTERNATIVA 4.....	101	8.	CONCLUSIÓN.....	142
6.3.1.	COMPROBACIONES ESTADO LÍMITE ÚLTIMO .....	101	9.	REFERENCIAS.....	143
6.3.2.	COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO .....	121			
6.3.3.	PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO ...	121			
6.3.4.	CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS .....	122			
6.4.	ALTERNATIVA 3.....	123			
6.4.1.	CÁLCULO DE LA ARMADURA MÍNIMA DE LA LOSA.....	125			
6.4.1.1.	CARA DE TRACCIÓN .....	125			
6.4.1.2.	CARA DE COMPRESIÓN.....	126			
6.4.2.	CÁLCULO DE LA ARMADURA MÍNIMA DEL MURO.....	127			
6.4.2.1.	CARA DE TRACCIÓN .....	127			
6.4.2.2.	CARA DE COMPRESIÓN.....	128			
6.4.3.	CÁLCULO DE LA ARMADURA MÁXIMA DE LA LOSA .....	129			
6.4.3.1.	CARA DE TRACCIÓN .....	130			
6.4.3.2.	CARA DE COMPRESIÓN.....	131			
6.4.4.	CÁLCULO DE LA ARMADURA MÁXIMA DEL MURO .....	134			



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de seguridad ELU. (Fuente: <i>Tabla 6.2-b de la IAP-11, 2012</i> ). .....	9
Tabla 2. Coeficientes de seguridad ELS. (Fuente: <i>Tabla 6.2-c de la IAP-11, 2012</i> ). .....	10
Tabla 3. Factores de simultaneidad. (Fuente: <i>Tabla 6.1-a de la IAP-11, 2012</i> ). .....	11
Tabla 4. Pesos específicos de los materiales. (Fuente: <i>Tabla 3.1-a de la IAP-11, 2012</i> ). .....	12
Tabla 5. Coeficientes $k_r$ , $z_0$ y $z_{\min}$ según el tipo de entorno. (Fuente: <i>Tabla 4.2-b de la IAP-11, 2012</i> ). .....	17
Tabla 6. Temperatura mínima anual del aire, $T_{\min}$ [°C]. (Fuente: <i>Tabla 4.3-a de la IAP-11, 2012</i> ). .....	22
Tabla 7. Valores de $\Delta T_{e,\min}$ y $\Delta T_{e,\max}$ para el cálculo de la componente uniforme de temperatura. (Fuente: <i>Tabla 4.3-b de la IAP-11, 2012</i> ).....	23
Tabla 8. Componente lineal de la diferencia vertical de temperatura para tableros tipo 1 y tipo 3. (Fuente: <i>Tabla 4.3-d de la IAP-11, 2012</i> ). .....	24
Tabla 9. Coeficiente $k_{sur}$ de influencia del tipo y espesor de pavimento. (Fuente: <i>Tabla 4.3-e de la IAP-11, 2012</i> ). .....	24
Tabla 10. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 1. (Fuente: SAP2000).....	42
Tabla 11. Propiedades de los materiales- acero. (Fuente: SAP2000). .....	42
Tabla 12. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000). .....	42
Tabla 13. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 2. (Fuente: SAP2000).....	42
Tabla 14. Propiedades de los materiales- acero. (Fuente: SAP2000). .....	42
Tabla 15. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000). .....	42
Tabla 16. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 4. (Fuente: SAP2000).....	43
Tabla 17. Propiedades de los materiales- acero. (Fuente: SAP2000). .....	43
Tabla 18. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000)..	43
Tabla 19. Propiedades de los materiales- cables. (Fuente: SAP2000). .....	43
Tabla 20. Propiedades de los materiales alternativa 3. (Fuente: SAP2000). .....	44
Tabla 21. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 3. (Fuente: SAP2000). .....	45
Tabla 22. Propiedades de los materiales- acero B500S. (Fuente: SAP2000). .....	45
Tabla 23. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000)..	45
Tabla 24. Asignación de restricciones alternativa 1. (Fuente: SAP2000)...	77
Tabla 25. Asignación de muelles alternativa 1. (Fuente: SAP2000).....	77
Tabla 26. Asignación de restricciones alternativa 2. (Fuente: SAP2000). ..	101
Tabla 27. Asignación de muelles alternativa 2. (Fuente: SAP2000).....	101
Tabla 28. Asignación de restricciones alternativa 4. (Fuente: SAP2000). ..	122
Tabla 29. Asignación de muelles alternativa 4. (Fuente: SAP2000).....	122
Tabla 30. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón. (Fuente: <i>Tabla 42.3.5 de la EHE-08, 2011</i> )... ..	124
Tabla 31. Armado mínimo de losa. (Fuente: elaboración propia). .....	127
Tabla 32. Armado mínimo de muro. (Fuente: elaboración propia). .....	129
Tabla 33. Armado máximo de losa. (Fuente: elaboración propia). .....	133
Tabla 34. Armado máximo de muro. (Fuente: elaboración propia). .....	137
Tabla 35. Recubrimiento mínimo (mm) para las clases generales de exposición III y IV. (Fuente: <i>Tabla 37.2.4.1.b de la EHE-08, 2011</i> ).....	138
Tabla 36. Coeficiente m. (Fuente: <i>Tabla 69.5.1.2.a. de la EHE-08, 2011</i> ). .....	139
Tabla 37. Longitudes de anclaje y de solapo. (Fuente: elaboración propia). .....	140
Tabla 38. Asignación de restricciones alternativa 3. (Fuente: elaboración propia). .....	141
Tabla 39. Asignación de muelles alternativa 3. (Fuente: elaboración propia). .....	141



Tabla 40. Escala Fundamental de Saaty (1980) de comparación por pares.  
(Fuente: El blog de Víctor Yepes, 2018)..... 142

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Coeficiente de fuerza para las secciones consideradas en las alternativas. (Fuente: Figura 4.2-b de la IAP-11, 2012). ....	18
Figura 2. Numeración de las barras alternativa 1. (Fuente: SAP2000). ....	40
Figura 3. Numeración de los nudos alternativa 1. (Fuente: SAP2000).....	40
Figura 4. Numeración de las barras alternativa 2. (Fuente: SAP2000). ....	41
Figura 5. Numeración de los nudos alternativa 2. (Fuente: SAP2000).....	41
Figura 6. Numeración de las barras alternativa 4. (Fuente: SAP2000). ....	41
Figura 7. Numeración de los nudos alternativa 4. (Fuente: SAP2000).....	41
Figura 8. Numeración de las áreas alternativa 3. (Fuente: SAP2000).....	44
Figura 9. Numeración de los nudos alternativa 3. (Fuente: SAP2000).....	44
Figura 10. Coeficientes de aprovechamiento del material para cada elemento de la alternativa 1. (Fuente: SAP2000).....	75
Figura 11. Aparato de apoyo de neopreno zunchado. (Fuente: Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera, 1995). ....	75
Figura 12. Geometría del aparato de apoyo. (Fuente: Catálogo comercial, 2013). ....	76
Figura 13. Coeficientes de aprovechamiento del material para cada elemento de la alternativa 2. (Fuente: SAP2000).....	100
Figura 14. Coeficientes de aprovechamiento del material para cada elemento de la alternativa 4. (Fuente: SAP2000).....	121



## 1. GENERALIDADES

### 1.1. OBJETO DEL PRESENTE DOCUMENTO

El objeto del presente documento es llevar a cabo la justificación resistente de las cuatro alternativas descritas en el *Anejo N.º 1: Definición de las alternativas*, y para ello se lleva a cabo el cálculo y las comprobaciones estructurales de todas ellas. Los cálculos se realizan de acuerdo a la normativa vigente, la Instrucción IAP-11, además de emplear otras normativas relativas a los materiales constituyentes de las pasarelas como el acero (normativa EAE, 2011) o el hormigón (normativa EHE-08, 2011). Se determinan las diferentes acciones actuantes, sus coeficientes de combinación y las combinaciones a considerar para cada una de las alternativas.

Las comprobaciones resistentes de cada una de las alternativas planteadas se realizan con el objetivo de justificar el correcto comportamiento estructural y la validez de todas ellas a lo largo de su vida útil, para posteriormente poder llevar a cabo un análisis de cada una de las estructuras y obtener la solución óptima. Para las estructuras objeto de este proyecto y en base a lo indicado en la IAP-11 (2012), se establece una vida útil de 100 años.

Queda excluido del cálculo estructural un análisis dinámico de las estructuras.

### 1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PASARELAS

La descripción de cada una de las pasarelas propuestas está contemplada en el *Anejo N.º 1: Definición de las alternativas*.

## 2. BASES DE CÁLCULO

Para llevar a cabo el apartado de comprobaciones estructurales se va a emplear la teoría de los estados límite. Esta teoría supone llevar a cabo una serie de actuaciones para poder dar suficiente margen de seguridad a la estructura para evitar así cualquier tipo de problema, ya sea estructural o funcional.

Para ello, se diferencian dos estados límite, el Estado Límite Último (ELU) y el Estado Límite de Servicio (ELS). El primero de ellos hace referencia a una situación que, de ser superada, supondría un riesgo importante de colapso o rotura de la estructura al verse superada su capacidad portante máxima, mientras que el Estado Límite de Servicio incluye todas aquellas situaciones en las que la estructura pierde funcionalidad, es decir, se trata de una situación que no compromete la capacidad estructural de la pasarela, pero sí que afecta a su aspecto deteriorándola significativamente.

Para aplicar la teoría de los estados límite se llevan a cabo dos acciones fundamentalmente, empleando en ambas unos coeficientes parciales de seguridad. Por un lado, los coeficientes parciales de seguridad de las acciones para aumentar el efecto de estas sobre la estructura, y, por otro lado, los coeficientes parciales de seguridad de los materiales, con el objetivo de disminuir la resistencia de estos frente a las acciones pertinentes. Con ello se consigue un margen suficiente para dotar de una mayor seguridad a la estructura.





## 2.1. NORMATIVA APLICADA

Para la redacción de este documento se han seguido las siguientes normativas e Instrucciones:

- Instrucción Española de Acero Estructural (EAE). (2011).
- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11). (2012).
- Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08). (2011).
- Obras de paso de nueva construcción. (2000).
- Nota Técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera. (1995).

## 2.2. MATERIALES EMPLEADOS

Se van a emplear principalmente dos materiales estructurales: acero y hormigón. Se especifican a continuación sus propiedades básicas:

- Acero estructural

Se utilizan dos tipos de acero diferentes. Por un lado y de forma mayoritaria, el acero S355 JR cuyas características son:

- Peso específico ( $\gamma$ ): 78,5 kN/m<sup>3</sup>
- Módulo de elasticidad (E): 210 GPa.
- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ): 0,3
- Coeficiente de dilatación lineal: 1,170E-05
- Límite elástico ( $F_y$ ): 355 MPa.
- Resistencia a tracción ( $F_u$ ): 510 MPa.

Se escoge el grado del acero JR según lo indicado en el apartado 32.3 de la EAE (2011) y conforme a lo explicado a continuación:

En primer lugar, cabe destacar la definición de tenacidad de fractura del acero, siendo esta la energía que es capaz de acumular el material a lo largo del tiempo antes de que se produzca su rotura frágil, debiendo ser lo suficientemente elevada como para poder garantizar el comportamiento dúctil del acero en situaciones en las que se vea sometido a temperaturas bajas a lo largo de la vida útil.

Además, el grado del acero hace referencia a características de soldabilidad necesarias de los elementos. Para construcciones ordinarias se emplea el grado del acero JR, estando el resto de los grados relacionados con exigencias mayores de soldabilidad. En base a esto, se debe determinar un espesor máximo de los elementos de acero para poder asegurar un comportamiento dúctil del material, empleando la *Tabla 32.3.* de la EAE, 2011.

Tipo de acero	Grado	Resiliencia		Temperatura de referencia $T_{ref}$ (°C)																				
		a T (°C)	J <sub>min</sub>	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
		$\sigma_{ref} = 0,75 f_t(t)$						$\sigma_{ref} = 0,50 f_t(t)$						$\sigma_{ref} = 0,25 f_t(t)$										
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20	90	75	65	55	45	40	35	135	115	100	85	75	65	60
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30	125	105	90	75	65	55	45	175	155	135	115	100	85	75
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40	170	145	125	105	90	75	65	200	200	175	155	135	115	100
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15	80	70	55	50	40	35	30	125	110	95	80	70	60	55
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25	115	95	80	70	55	50	40	165	145	125	110	95	80	70
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35	155	130	115	95	80	70	55	200	190	165	145	125	110	95
	M, N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45	180	155	130	115	95	80	70	200	200	190	165	145	125	110
	ML, NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65	200	200	180	155	130	115	95	230	200	200	200	190	165	145
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	10	65	55	45	40	30	25	20	110	95	80	70	60	55	45	
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15	95	80	65	55	45	40	30	150	130	110	95	80	75	60
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25	135	110	95	80	65	55	45	200	175	150	130	110	95	80
	K2, M, N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35	155	135	110	95	80	65	55	200	200	175	150	130	110	95
	ML, NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50	200	180	155	135	110	95	80	210	200	200	200	175	150	130
S420	M, N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30	140	120	100	85	70	60	50	200	185	160	140	120	100	85
	ML, NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45	190	165	140	120	100	85	70	200	200	200	185	160	140	120
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20	110	95	75	65	55	45	35	175	155	130	115	95	80	70
	M, N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25	130	110	95	75	65	55	45	200	175	150	130	115	95	80
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30	155	130	110	95	75	65	55	200	200	175	155	130	115	95
	ML, NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40	180	155	130	110	95	75	65	200	200	200	175	155	130	115
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50	200	180	155	130	110	95	75	215	200	200	200	175	155	130

Tabla 32.3. Espesores máximos  $t$  (mm) del material base. (Fuente: EAE, 2011).



En esta tabla se diferencian dos conceptos: temperatura de referencia ( $T_{ref}$ ) y tensión de referencia ( $\sigma_{ref}$ ), explicados a continuación a partir de información obtenida de la EAE (2011).

Por un lado, la temperatura de referencia se obtiene a partir de la temperatura mínima del aire a lo largo de la vida útil de la estructura implantando ciertas modificaciones mediante unos términos mencionados en la siguiente expresión:

$$T_{ref} = T_0 + \Delta T_r - \Delta T\varepsilon - \Delta T\varepsilon_{cf}$$

siendo:

$T_0$ : temperatura mínima de servicio, que para el caso de la ciudad de Valencia se considera  $T_0 = -15$  °C.

$\Delta T_r$ : término que tiene en cuenta el efecto de la pérdida por radiación. Se toma igual a  $\Delta T_r = -5$  °C.

$\Delta T\varepsilon$ : término función de la velocidad de deformación, siendo este igual a 0 al considerar acciones estáticas o cuasi-estáticas.

$\Delta T\varepsilon_{cf}$ : término función de la conformación en frío del acero. Se toma igual a 0 ya que el material no está conformado en frío.

Con todo ello se obtiene que:

$$T_{ref} = -15 - 5 - 0 - 0 = -20$$
 °C

Por otro lado, la tensión de referencia se define como la tensión a la que se encuentra el elemento en servicio, y viene expresada en la tabla anterior en base a un porcentaje (75%, 50%, 25%) del límite elástico del acero. Cuanto más alto sea este porcentaje, con más precisión se está

dimensionando la sección de acero. Considerando una precisión elevada en el dimensionamiento de las secciones, se escoge  $\sigma_{ref} = 0,75 * f_y(t)$ .

Finalmente, para una  $\sigma_{ref} = 0,75 * f_y(t)$ , una  $T_{ref} = -20$  °C, el grado del acero JR y el tipo de acero S355 (el mejor en relación calidad-precio), se obtiene que el espesor máximo de los elementos de acero debe ser de 20 mm.

- Acero para péndolas Y-1860
  - Carga unitaria máxima ( $f_{m\acute{a}x}$ ): 1860 N/mm<sup>2</sup>.
  - Límite elástico ( $f_y$ ): 1674 N/mm<sup>2</sup>. (90% de  $f_{m\acute{a}x}$ ).
- Hormigón estructural (HA-35):
  - Peso específico ( $\gamma$ ): 35 kN/m<sup>3</sup>
  - Módulo de elasticidad (E): 35 GPa.
  - Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ): 0,2
  - Coeficiente de dilatación lineal ( $\alpha$ ): 1E-05
- Armadura pasiva B500S:
  - Límite elástico ( $f_y$ )  $\geq$  500 MPa.
  - Carga unitaria de rotura ( $f_s$ )  $\geq$  550 Mpa.
  - Alargamiento en rotura ( $\varepsilon_{u,5}$ )  $\geq$  12 %.
  - Módulo de elasticidad (E): 200 GPa.
- Hormigón HA-25 empleado en el pavimento:
  - Peso específico ( $\gamma$ ): 25 kN/m<sup>3</sup>
  - Módulo de elasticidad (E): 35 GPa.



- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ): 0,2
- Coeficiente de dilatación lineal ( $\alpha$ ): 1E-05

### 2.3. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Se incluyen a continuación los coeficientes parciales de seguridad de las acciones y de los materiales empleados en las comprobaciones resistentes de los diferentes elementos que conforman las estructuras.

#### 2.3.1. ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU)

Los coeficientes parciales de seguridad de las acciones son los mostrados a continuación para el acero estructural, el hormigón estructural y el acero pasivo B500S.

-Coeficiente de seguridad del acero estructural:  $\gamma_{M0} = 1,05$ . (según la *Tabla 15.3 de la EAE, 2011*)

-Coeficiente de seguridad del hormigón estructural:  $\gamma_c = 1,5$ . (según la *Tabla 15.3 de la EHE-08, 2011*):

-Coeficiente de seguridad del acero para armadura pasiva:  $\gamma_s = 1,15$ . (según la *Tabla 15.3 de la EHE-08, 2011*).

Por otro lado, en la *Tabla 6.2-b* de la IAP-11 se incluyen los coeficientes parciales de seguridad de las acciones para Estado Límite Último relativos a la situación persistente, que es la que se va a considerar y calcular en este proyecto. Se incluyen en la siguiente tabla los empleados en el cálculo:

ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU)		
Acciones		Efecto desfavorable
Permanentes (Q)	Peso propio (PP)	1,35
	Carga muerta (CM)	1,35
Variables (Q)	Sobrecarga de uso (SU)	1,35
	Acciones climáticas (viento)	1,5
	Acciones climáticas (Temperatura)	1,5

Tabla 1. Coeficientes de seguridad ELU. (Fuente: *Tabla 6.2-b de la IAP-11, 2012*).

#### 2.3.2. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (ELS)

Coeficientes parciales de seguridad de los materiales:

-Coeficiente de seguridad del acero estructural:  $\gamma_{M0} = 1,00$ .

-Coeficiente de seguridad del hormigón estructural:  $\gamma_c = 1,00$ .

-Coeficiente de seguridad del acero para armadura pasiva:  $\gamma_s = 1,00$ .

Los coeficientes parciales de seguridad de las acciones son los indicados en la *Tabla 6.2-c* de la IAP-11 (2012) mostrada a continuación:



ESTADO LÍMITE DE SERVICIO (ELS)		
Acciones		Efecto desfavorable
Permanentes (Q)	Peso propio (PP)	1,0
	Carga muerta (CM)	1,0
Variables (Q)	Sobrecarga de uso (SU)	1,0
	Acciones climáticas (viento)	1,0
	Acciones climáticas (Temperatura)	1,0

Tabla 2. Coeficientes de seguridad ELS. (Fuente: Tabla 6.2-c de la IAP-11, 2012).

## 2.4. COMBINACIONES DE ACCIONES

A continuación, se describen las combinaciones de acciones empleadas en el cálculo de las diferentes alternativas. Se llevan a cabo las comprobaciones de Estado Límite Último, pero no las de Estado Límite de Servicio ya que el principal objetivo de este documento es la justificación de la validez a nivel estructural de cada una de las pasarelas propuestas para poder posteriormente seleccionar una de ellas. Sin embargo, sí que se incluye en el cálculo de cada una de las estructuras el estado límite de deformaciones para verificar la flecha vertical máxima de las diferentes alternativas.

### 2.4.1. COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELU

De las distintas situaciones de proyecto existentes (persistente, transitoria, accidental y sísmica), en este proyecto se va a llevar a cabo el cálculo de la primera de ellas.

Las combinaciones de acciones se harán conforme a la expresión siguiente, obtenida en el apartado 6.3.1. de la IAP-11 (2012):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} * G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,j}$ : valor característico de cada acción permanente.

$G_{k,m}^*$ : valor característico de cada acción permanente de valor no constante.

$Q_{k,1}$ : valor característico de la acción variable dominante.

$\psi_{0,i} * Q_{k,i}$ : valor de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

$\gamma_G, \gamma_Q$ : coeficientes parciales.

Al llevar a cabo la combinación de las diferentes acciones variables se tiene en cuenta las siguientes prescripciones expuestas en el apartado 6.3.1.1 de la IAP-11 (2012):

- La concomitancia de la componente uniforme de temperatura y de la componente de diferencia de temperatura se regirá por lo expuesto en el apartado 4.3.1.3 de la IAP-11 (2012).



- Cuando se considere la acción del viento como predominante, no se tendrá en cuenta la acción de la sobrecarga de uso.
- Cuando se considere la sobrecarga de uso como predominante, se considerará el viento concomitante correspondiente, con las indicaciones que figuran en el apartado 4.2.3 de la IAP-11 (2012).
- No se considerará la acción simultánea del viento y de la acción térmica.

#### 2.4.2. COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELS

En el caso de las comprobaciones en estado límite de servicio se lleva a cabo la comprobación del estado límite de deformaciones. A partir del apartado 7.1 de la Instrucción IAP-11 (2012) se verifica que la flecha vertical máxima correspondiente al valor frecuente de la sobrecarga de uso no supere el valor límite de  $L/1200$  en el caso de pasarelas, y para ello se emplea la siguiente expresión extraída de la combinación frecuente para comprobación de Estado Límite de Servicio (apartado 6.3.2 IAP-11, 2012):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} * G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} * \psi_{1,1} * Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,j}$ : valor característico de cada acción permanente.

$G_{k,m}$ : valor característico de cada acción permanente de valor no constante.

$Q_{k,1}$ : valor característico de la acción variable dominante.

$\psi_{2,i} * Q_{k,i}$ : valor de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

$\gamma_G, \gamma_Q$ : coeficientes parciales.

Cuando se llevan a cabo las combinaciones de acciones, se emplean unos factores de simultaneidad con el objetivo de tener en cuenta, en el caso de combinación de dos o más acciones variables, las pocas probabilidades que hay de que estas acciones se den de forma simultánea.

Estos factores de simultaneidad se obtienen de la *Tabla 6.1-a* de la IAP-11 (2012) y en este anejo se emplean los siguientes:

Acciones		$\psi_0$
Permanentes (Q)	Peso propio (PP)	-
	Carga muerta (CM)	-
Variables (Q)	Sobrecarga de uso (SU)	0,4
	Acciones climáticas (viento)	0,3
	Acciones climáticas (Temperatura)	0,6

*Tabla 3. Factores de simultaneidad. (Fuente: Tabla 6.1-a de la IAP-11, 2012).*



### 3. ACCIONES

En el presente apartado se va a explicar el procedimiento para llevar a cabo el cálculo de las diferentes acciones a las que está sometida una pasarela para posteriormente indicar los valores calculados para cada una de las alternativas propuestas. Todas las consideraciones acerca de las acciones se obtienen de los capítulos 3 y 4 de la IAP-11 (2012).

Se diferencian dos tipos de acciones fundamentalmente según su variación en el tiempo: las acciones permanentes y las acciones variables.

#### 3.1. ACCIONES PERMANENTES (G)

Las acciones permanentes se diferencian a su vez en acciones permanentes de valor constante (G) y acciones permanentes de valor no constante (G\*).

Las primeras de ellas son las que actúan sobre la estructura en todo momento y son constantes en posición y magnitud. En este caso, se diferencia el peso propio de los diferentes elementos que conforman la estructura y las cargas muertas.

Las acciones permanentes de valor no constante son aquellas que actúan en todo momento pero que su valor no es constante, es decir, varía a lo largo de la vida útil de la estructura. Estas acciones son las de pretensado, acciones reológicas o asentamientos del terreno entre otras. En el caso de este proyecto no se considera ninguna de estas acciones.

#### 3.1.1. PESO PROPIO

Corresponde al peso de todos los elementos estructurales que forman la pasarela, y para cada una de las alternativas se han utilizado los siguientes pesos específicos extraídos de la *Tabla 3.1-a* de la IAP-11 (2012):

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO (kN/m <sup>3</sup> )
Acero	78,5
Hormigón armado	25

*Tabla 4. Pesos específicos de los materiales. (Fuente: Tabla 3.1-a de la IAP-11, 2012).*

Todas las acciones de peso propio están consideradas en base al cálculo que realiza el programa SAP2000 a partir de los pesos específicos de los materiales introducidos, siendo este cálculo el producto del peso específico del material y del área de material considerado en cada caso.

#### 3.1.2. CARGAS MUERTAS

Corresponden con el peso de los elementos no estructurales que apoyan sobre los estructurales. Para el cálculo de dichas cargas se consideran las barandillas, la chapa grecada del piso, las impostas, las luminarias, los caces para evacuación de pluviales y el agua que circula en el interior de estos.

Las barandillas se diseñan para poder garantizar la seguridad de los transeúntes en todo momento. Para llevar a cabo su consideración en el modelo, se tiene en cuenta el pasamanos, los montantes de acero que unen el pasamanos con el tablero y los cables que se sitúan entre los montantes. Para estos tres elementos se considera el peso específico del acero de 78,5 kN/m<sup>3</sup>.



Tal y como se define en el anejo de equipamientos, el pasamanos es de sección circular y diámetro de 60 mm. La carga muerta debida a este elementos se obtiene mediante producto del peso específico del acero y el área de la sección del pasamanos, obteniendo una carga lineal de 0,226 kN/m que es resistida por las vigas longitudinales ubicadas en el borde del tablero.

En el caso de los montantes se multiplica el volumen de cada uno de ellos por el peso específico del acero y por el número total de montantes en un borde del tablero para conseguir la carga total, que posteriormente se divide entre la longitud de la pasarela y se obtiene así la carga lineal (0,533 kN/m) soportada por cada viga longitudinal.

Por último, para los cables de acero de 5 mm de diámetro se realiza el producto del peso específico del acero por el área de un cable y por el número de cables totales que se han considerado (10) y se obtiene una carga lineal de 0,015 kN/m.

Con todo lo calculado anteriormente se obtiene una carga lineal total sobre cada viga longitudinal de borde de tablero debida a las barandillas de 0,774 kN/m.

En cuanto a la chapa grecada del piso, el peso por unidad de longitud extraído del catálogo comercial es de 13,08 kg/m<sup>2</sup>, que multiplicándolo por 9,81 se obtienen 128,31 N/m<sup>2</sup> (0,13 kN/m<sup>2</sup>), estando esta carga distribuida en toda el área del tablero. Por último, la carga debida al pavimento está considerada por el programa SAP2000 al haber introducido en el modelo tanto el material como las dimensiones del área.

Por lo que respecta a la imposta y sabiendo que la sección transversal de esta es de 0,059 m<sup>2</sup>, se aplica sobre cada viga longitudinal de borde de tablero una carga de:

$$25 \frac{kN}{m^3} * 0,059 m^2 = 1,48 \frac{kN}{m}$$

Por otro lado, la iluminación se puede asimilar a una múltiples cargas puntuales de 0,015 kN aplicadas al tresbolillo en aquellos puntos de las vigas longitudinales en los que los cables, las diagonales o las péndolas llegan al tablero.

Los caces, tal y como se explica en el anejo de equipamientos, se disponen en los bordes del tablero, y su peso según el catálogo del cual se han extraído estos elementos de 1 m de longitud es de  $40 \frac{kg}{u} = 40 \frac{kg}{m}$ . Esta carga se asimila a la siguiente:

$$40 \frac{kg}{m} * 9,81 = 0,392 \frac{kN}{m}$$

A su vez, para tener en cuenta el agua que circula sobre estos canales, se tiene en cuenta que toda la sección (0,013 m<sup>2</sup>) está ocupada por agua, por lo que su efecto sobre las vigas longitudinales es de:

$$10 \frac{kN}{m^3} * 0,013 m^2 = 0,13 \frac{kN}{m}$$

La suma final de cargas muertas es de:

Carga distribuida de  $2,776 \frac{kN}{m}$  sobre las vigas longitudinales.

Carga de  $0,13 \frac{kN}{m^2}$  sobre el área del piso.

Cargas puntuales de 0,015 kN sobre las vigas longitudinales y al tresbolillo.





En el caso de la alternativa de pasarela en hormigón armado in situ, la carga debida a los caces y el agua en el interior de estos se aplica en el borde del tablero a su llegada a las vigas longitudinales, mientras que las luminarias se decide disponerlas cada 2,5 m en toda la longitud del tablero. No se consideran las barandillas ni la chapa grecada del piso ya que en este caso las vigas laterales que hacen de barandillas forman parte de los elementos estructurales y el tablero consta de hormigón y armadura pasiva, todo ello ya considerado por el programa SAP2000.

### 3.2. ACCIONES VARIABLES (Q)

Son aquellas acciones externas a la propia estructura y que tienen relación con la interacción de los distintos elementos de la pasarela con el entorno, pudiendo actuar sobre ella o no. Dentro de estas acciones se consideran las siguientes para realizar el cálculo: sobrecarga de uso, viento y temperatura. No se considera la sobrecarga sobre las pasarelas provocada por la nieve ya que esta únicamente se considera, según el apartado 4.4 de la IAP-11 (2012), en el caso de pasarelas ubicadas en zonas de alta montaña o durante la construcción.

Se va a diferenciar a continuación las acciones variables para cada una de las alternativas planteadas.

#### 3.2.1. ALTERNATIVA 1

##### 3.1.1.1. SOBRECARGA DE USO

Las sobrecargas de uso son aquellas que actúan sobre la estructura debido a su uso. Debido a que la pasarela a proyectar va destinada al uso peatonal y ciclista, se tendrán en cuenta las cargas introducidas por estos.

En el apartado 4.1.8 de la IAP-11 (2012) se establecen las sobrecargas de uso a introducir en el caso de pasarelas, considerando la acción simultánea de las siguientes cargas:

- Una sobrecarga vertical uniforme de  $5 \text{ kN/m}^2$  distribuida en toda el área del tablero.
- Una fuerza horizontal longitudinal de valor 10% de la carga vertical uniformemente distribuida. Dicha carga resulta ser de:  $0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

A la hora de realizar las combinaciones de acciones e introducir las cargas antes mencionadas en el modelo de SAP2000, estas dos cargas se introducen como una sola.

Por lo que respecta a las sobrecarga de uso debidas a las barandillas, según el apartado 4.1.7 de la IAP-11 (2012), se debe adoptar una fuerza horizontal perpendicular al elemento superior de la barandilla igual a  $1,5 \text{ kN/m}$ . Esta fuerza se traduce en un momento de eje "x" sobre las vigas longitudinales laterales igual a  $1,5 \text{ kN/m} \cdot 1,5 \text{ m} = 2,25 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$  (siendo 1,5 la altura de la barandilla).

Con el objetivo de llevar a cabo el cálculo de comprobaciones locales sobre la estructura, se tiene en cuenta una fuerza vertical puntual de  $10 \text{ kN}$  actuando sobre una superficie cuadrada de  $0,1 \text{ m}$  de lado en el centro de una viga transversal del piso, produciendo un efecto menos desfavorable



que el que provoca la carga uniforme de 5 kN/m<sup>2</sup>, tanto para vigas transversales biapoyadas como biempotradas con su justificación mostrada a continuación:

- Carga de 5 kN/m<sup>2</sup> y **viga biapoyada**:

Se convierte en una carga de 12,5 kN/m sobre cada viga transversal del tablero al multiplicar la carga uniforme por el área tributaria de estas vigas transversales (2,5 m).

$$M_{apoyos} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{centro\ luz} = \frac{p \cdot l^2}{8} = \frac{12,5 \cdot 5,86^2}{8} = 53,66 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Carga puntual de 10 kN y **viga biapoyada**:

$$M_{apoyos} = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{centro\ luz} = \frac{p \cdot l}{4} = \frac{10 \cdot 5,86}{4} = 14,65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Carga de 5 kN/m<sup>2</sup> y **viga biempotrada**:

Se convierte en una carga de 12,5 kN/m sobre cada viga transversal del tablero al multiplicar la carga uniforme por el área tributaria de estas vigas transversales (2,5 m).

$$M_{apoyos} = \frac{p \cdot l^2}{12} = \frac{12,5 \cdot 5,86^2}{12} = 35,77 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{centro\ luz} = \frac{p \cdot l^2}{24} = \frac{12,5 \cdot 5,86^2}{24} = 17,89 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Carga puntual de 10 kN y **viga biempotrada**:

$$M_{apoyos} = \frac{p \cdot l}{8} = \frac{10 \cdot 5,86}{8} = 7,325 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{centro\ luz} = \frac{p \cdot l}{8} = \frac{10 \cdot 5,86}{8} = 7,325 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### 3.1.1.2. VIENTO

Para la consideración de la actuación del viento sobre la pasarela, se considera la acción de una carga estática equivalente, y para su obtención se siguen las prescripciones descritas en los apartados 4.2.1 a 4.2.8. de la IAP-11 (2012).

Conforme al apartado 4.2.1 de la Instrucción, se calcula inicialmente la velocidad básica fundamental del viento ( $V_{b,0}$ ), siendo esta la velocidad media durante un periodo de tiempo de 10 min (con periodo de retorno T de 50 años). Según el mapa de isotacas mostrado en la *Figura 4.2-a* de la IAP-11, Pinedo se encuentra en zona A, por lo que la velocidad básica fundamental del viento es de 26 m/s.



Figura 4.2-a. Mapa de isotacas para la obtención de la velocidad básica fundamental del viento. (Fuente: IAP-11, 2012).

Una vez se obtiene esta velocidad, se procede al cálculo de la velocidad básica del viento mediante la siguiente fórmula expuesta del apartado 4.2.1 de la IAP-11 (2012):

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0}$$

donde:

$V_b$ : velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 50 años (m/s).

$C_{dir}$ : factor direccional del viento que, a falta de estudios más precisos, puede tomarse igual a 1,0

$C_{season}$ : factor estacional del viento que, a falta de estudios más precisos, puede tomarse igual a 1,0.

$V_{b,0}$ : velocidad básica fundamental del viento obtenida anteriormente (m/s).

Esta expresión es válida para un periodo de retorno de 50 años, mientras que la pasarela se va a proyectar para una periodo de retorno de 100 años, por lo que se debe emplear una formulación diferente:

$$V_b(T) = V_b * C_{prob} \quad (1)$$

donde:

$V_b(T)$ : velocidad básica del viento para el periodo de retorno considerado (T=100 años).

T: periodo de retorno (años).

$C_{prob}$ : factor de probabilidad obtenido con la siguiente fórmula:

$$C_{prob} = \left\{ \frac{1 - K * \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{1 - K * \ln [-\ln(0,98)]} \right\}^n \quad (2)$$

Los parámetros  $K$  y  $n$  toman los valores de 0,2 y 0,5 respectivamente y se obtiene  $C_{prob} = 1,04$  y por lo tanto  $V_b(100) = 26 * 1,04 = 27,04$  m/s.

Se calcula a continuación el empuje que produce el viento sobre el centro de gravedad de cada uno de los elementos de la pasarela a partir de la siguiente fórmula:

$$F_w = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_f * A_{ref} \quad (3)$$

donde:



$F_w$ : empuje del viento (N).

$\frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T)$ : presión de la velocidad básica del viento (N/m<sup>2</sup>).

$\rho$ : densidad del aire, que se considera igual a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

$v_b(T)$ : velocidad básica del viento (m/s) para un periodo de retorno T anteriormente mencionada.

$c_f$ : coeficiente de fuerza del elemento considerado según la *Figura 4.2-b* de la IAP-11 (2012), (véase *Figura 1*) a excepción del cálculo del viento en el tablero, que se sigue lo indicado en el apartado 4.2.5.1 de la IAP-11 (2012).

$A_{ref}$ : área de referencia, siendo esta el área expuesta sobre el plano perpendicular a la dirección del viento (m<sup>2</sup>).

$c_e(z)$ : coeficiente de exposición en función de la altura z calculado según la expresión siguiente:

$$c_e(z) = k_r^2 * \left[ c_0^2 * \ln^2 \left( \frac{z}{z_0} \right) + 7 * k_l * c_0 * \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \right] \quad (4)$$

donde:

$k_l$ : factor de turbulencia igual a 1,0.

$c_0$ : factor de topografía que se toma igual a 1,0.

$z_0$ : longitud de rugosidad igual a 0,05 m según la *Tabla 4.2-b* de la IAP-11 (2012).

$z$ : altura del punto de aplicación del empuje de viento respecto del terreno (m).

$k_r$ : factor del terreno, que según la *Tabla 4.2-b* de la IAP-11 (2012) es igual a 0,190.

Para la obtención de los valores de  $k_r$  y  $z_0$  se ha considerado un entorno tipo II al encontrarse la pasarela en una zona con vegetación baja y obstáculos aislados como árboles o pequeñas construcciones.

Tipo de entorno	$k_r$	$z_0$ (m)	$Z_{\min}$ (m)
II	0,190	0,05	2

*Tabla 5. Coeficientes  $k_r$ ,  $z_0$  y  $Z_{\min}$  según el tipo de entorno. (Fuente: Tabla 4.2-b de la IAP-11, 2012).*

Todo lo expuesto anteriormente es válido para el cálculo del viento vertical y horizontal. En el caso del cálculo del viento longitudinal, se considera el producto de un porcentaje del 25% del empuje horizontal transversal (dirección "y") y un coeficiente reductor. El valor del coeficiente reductor se establece a partir de la siguiente expresión (apartado 4.2.5.2. de la IAP-11, 2012):

$$1 - \left[ \frac{7}{c_0 * \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) + 7} \right] * \phi * \left[ L/L(z) \right] \quad (5)$$

donde:

$c_0$ : factor de topografía definido anteriormente.

$$\phi * \left[ L/L(z) \right] = 0,230 + 0,182 * \ln \left[ L/L(z) \right]$$

Siendo L la longitud que se ve afectada por el viento longitudinal y L(z) la longitud integral de turbulencia igual a  $300 * \left( \frac{z}{200} \right)^\alpha$  y  $\alpha = 0,52$  según la *Tabla 4.2-d* de la IAP-11 considerando un tipo de entorno II.



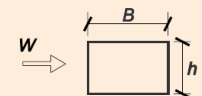

	$\frac{B}{h}$	$\leq 0,2$	0,4	0,6	0,7	1,0	2,0	5,0	$\geq 10,0$
	$c_f$	2,0	2,2	2,35	2,4	2,1	1,65	1,0	0,9
			sección circular con superficie lisa y tal que: $\varnothing v_b(T) \sqrt{c_e(z)} > 6 \text{ m}^2/\text{s}$ $c_f = 0,7$		sección circular con superficie rugosa <sup>(1)</sup> , o lisa tal que: $\varnothing v_b(T) \sqrt{c_e(z)} < 6 \text{ m}^2/\text{s}$ $c_f = 1,2$				

Figura 1. Coeficiente de fuerza para las secciones consideradas en las alternativas. (Fuente: Figura 4.2-b de la IAP-11, 2012).

#### ▪ VIENTO VERTICAL TABLERO

$$\frac{F_{w,z}}{A_{ref,z}} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 4,857 \text{ m}$ .

Coeficiente de exposición  $c_e(z) = 1,912$ .

Coeficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z} = 0,9$ .

$A_{ref,z} = 18,68 * 5,86 = 109,47 \text{ m}^2$ .

$F_{w,z} = 86,096 \text{ kN}$

Se obtiene finalmente que  $\frac{F_{w,z}}{A_{ref}} = 0,7865 \text{ kN/m}^2$ .

#### ▪ VIENTO HORIZONTAL TABLERO

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 4,857 \text{ m}$ .

Coeficiente de exposición  $c_e(z) = 1,912$ .

$A_{ref,y} = 18,68 * 0,4 = 7,47 \text{ m}^2$ .

Coeficiente de fuerza  $c_{f,y} = 2,5 - 0,3 * (B/h_{eq}) = 2,138$  del apartado 4.2.5 de la IAP-11 (2012).

donde:

B: anchura total del tablero: 5,86 m.

$h_{eq}$ : altura equivalente igual a 5 m. Para el cálculo de esta altura equivalente se tiene en cuenta la distancia desde el tablero hasta la superficie del terreno.

$F_{w,y} = 13,961 \text{ kN}$ , que dividido entre la longitud de una viga longitudinal lateral se obtienen 0,747 kN/m.

#### ▪ VIENTO LONGITUDINAL TABLERO

25% del empuje horizontal: 3,49 kN

Longitud integral de turbulencia L(z): 43,4 m.

Coeficiente reductor: 0,95



$F_{w,x} = 0,18$  kN/m por viga longitudinal.

▪ **VIENTO VERTICAL ARCOS**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 10,214$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z) = 2,37$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z} = 1,2$  según la figura 4.2-b de la IAP-11 (2012) para sección circular y superficie rugosa.

$A_{ref,z} = 18,68 * 0,25 = 4,67$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,z} = 0,324$  kN/m por arco.

▪ **VIENTO HORIZONTAL ARCOS**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z: 10,214$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z) = 2,37$ .

$A_{ref,y} = 20,83 * 0,25 = 5,21$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,y} = 0,362$  kN/m por arco.

▪ **VIENTO LONGITUDINAL ARCOS**

25% del empuje horizontal: 1,69 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z) = 63,9$  m.

Coefficiente reductor: 0,99

$F_{w,x} = 0,08$  kN/m por viga longitudinal

▪ **VIENTO VERTICAL DIAGONALES**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 8,58$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z) = 2,26$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z} = 1,2$  según la figura 4.2-b de la IAP-11 (2012) para sección circular y superficie rugosa.

$A_{ref,z} = 25 * 0,2 = 5$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,z} = 0,331$  kN/m por diagonal.

▪ **VIENTO HORIZONTAL DIAGONALES**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$





Altura del punto de aplicación  $z=10,214$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,37$ .

$A_{ref,y}=25*0,2=5$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,y}=0,362$  kN/m por arco.

▪ **VIENTO LONGITUDINAL DIAGONALES**

No se considera que las diagonales vayan a soportar viento longitudinal ya que es el arco el que absorbe esta acción en primera instancia.

▪ **VIENTO VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO**

No se considera el viento sobre las vigas de arriostramiento ya que, al ser estos elementos de dimensiones pequeñas y habiéndolo calculado, el efecto sobre la estructura es despreciable.

▪ **VIENTO VERTICAL BARANDILLAS**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z=6,657$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,10$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z}$ , que se toma igual a 2,2 según el apartado 4.2.7 de la IAP-11 (2012), que expone que para secciones no incluidas en la tabla 4.2-b se tome 2,2 como valor de  $c_f$ .

$A_{ref,z}=18,68*0,2=3,74$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,z}=0,422$  kN/m por barandilla.

▪ **VIENTO HORIZONTAL BARANDILLAS**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z=6,657$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,10$ .

$A_{ref,y}=18,68*1,5=28,02$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,y}=3,167$  kN/m por barandilla, que genera un momento de 2,375 kN\*m/m sobre cada viga longitudinal lateral.

▪ **VIENTO LONGITUDINAL BARANDILLAS**

25% del empuje horizontal: 14,79 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z)=49,9$  m.

Coefficiente reductor: 0,996



$F_{w,x} = 0,789$  kN/m por barandilla, que genera un momento de eje x de 1,183 kN\*m/m sobre las vigas longitudinales laterales.

### 3.1.1.3. ACCIÓN TÉRMICA

Todas las estructuras van a estar sometidas a lo largo de su vida útil a modificaciones en su longitud debidas a los cambios de temperatura, y como consecuencia se generan tensiones debidas a las coacciones de movimiento. Por ello, para poder tenerlas en consideración, es necesario llevar a cabo un cálculo de estas acciones.

Conforme al apartado 4.3.1. de la IAP-11 (2012), se distinguen tres tipos de tableros en función de su sección transversal:

- Tipo 1: Tableros de acero con sección transversal en cajón, viga armada o celosía.
- Tipo 2: Tableros mixtos compuestos por acero estructural y hormigón armado o pretensado.
- Tipo 3: Tableros de hormigón armado o pretensado, ya sean losas, vigas o cajones.

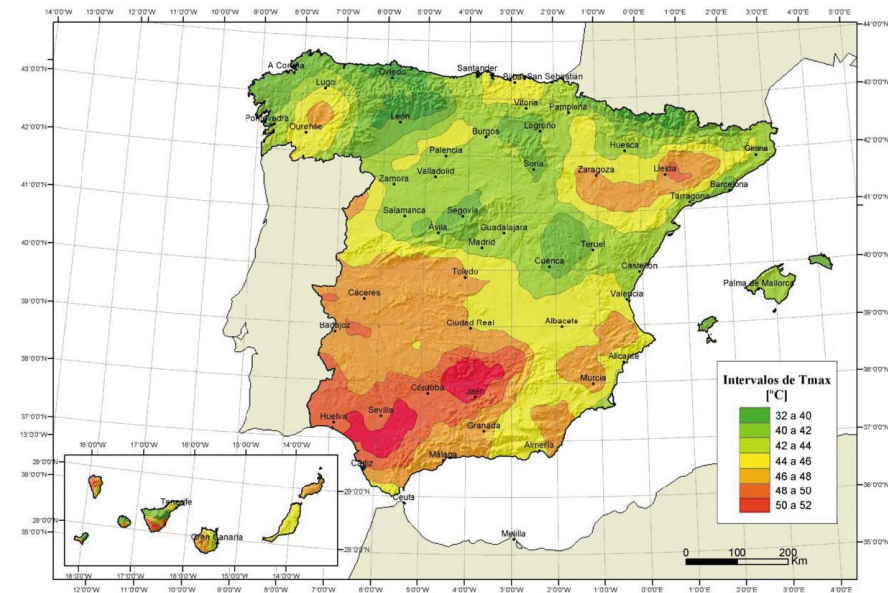
En base a estos tipos de tablero, en el caso de la alternativa 1, el tablero es de Tipo 1.

Para llevar a cabo el cálculo de la acción térmica sobre las pasarelas se calcula inicialmente la componente uniforme de temperatura del tablero, posteriormente la diferencia de la componente de temperatura y se finaliza considerando la simultaneidad de estas dos.

## ➤ COMPONENTE UNIFORME DE LA TEMPERATURA DEL TABLERO

### ▪ Temperatura máxima y mínima del aire

Se inicia el cálculo obteniendo la temperatura del aire a la sombra en Pinedo, tanto la máxima como la mínima. Por un lado, la temperatura máxima del aire ( $T_{m\acute{a}x}$ ) para un periodo de retorno de 50 años es de 45 °C, obtenida de la *Figura 4.3-a* de la IAP-11 (2012).



*Figura 4.3-a. Isotermas de la temperatura máxima anual del aire,  $T_{m\acute{a}x}$  [°C]. (Fuente: IAP-11, 2012).*



La temperatura mínima del aire para T=50 años es función de la altitud en Pinedo (0 m) y de la zona climática invernal (zona 5 deducida de la *Figura 4.3-b* de la IAP-11, 2012). Con esto, y en base a la *Tabla 4.3-a* de esta misma Instrucción y que en este documento se refleja en la *Tabla 6* se obtiene que  $T_{\min}$  es de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

ALTITUD (m)	ZONA DE CLIMA INVERNAL (según Figura 4.3-b)						
	1	2	3	4	5	6	7
	-7	-11	-11	-6	-5	-6	6

*Tabla 6. Temperatura mínima anual del aire,  $T_{\min}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]. (Fuente: Tabla 4.3-a de la IAP-11, 2012).*



*Figura 4.3-b. Zonas climáticas de invierno. (Fuente: IAP-11, 2012).*

Los valores de temperatura anteriormente mencionados son los relativos a un periodo de retorno de 50 años. Sin embargo, la pasarela se va a proyectar para un periodo de retorno de 100 años, por lo que se deben corregir estos valores a partir de las fórmulas siguientes (apartado 4.3.1.1. de la IAP-11, 2012):

$$T_{\max,p} = T_{\max} * \{k_1 - k_2 * \ln[-\ln(1 - p)]\} \quad (6)$$

$$T_{\min,p} = T_{\min} * \{k_3 + k_4 * \ln[-\ln(1 - p)]\} \quad (7)$$

donde  $p$  es la inversa del periodo de retorno T=100 años ( $p = 0,01$ ) y el valor de los coeficientes son los siguientes:

$$k_1=0,781 \quad k_2=0,056 \quad k_3=0,393 \quad k_4=-0,156$$

Así se obtienen los siguientes valores:

$$T_{\max,100} = 46,74\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{\min,100} = -5,55\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

#### ■ Componente uniforme de temperatura

Tras haber calculado las temperaturas máximas y mínimas del aire para un periodo de retorno de 100 años, se debe obtener la componente uniforme de la temperatura del tablero o temperatura efectiva, que es la temperatura media de la sección transversal del tablero de la pasarela. Esta temperatura está compuesta por un valor mínimo ( $T_{e,\min}$ ) y uno máximo ( $T_{e,\max}$ ) que se calculan a partir de las fórmulas siguientes obtenidas del apartado 4.3.1.1.2 de la IAP-11 (2012):

$$T_{e,\min} = T_{\min} + \Delta T_{e,\min} = -5,55 - 3 = -8,55\text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (8)$$

$$T_{e,\max} = T_{\max} + \Delta T_{e,\max} = 46,74 + 16 = 62,74\text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (9)$$



donde:

$T_{mín}$ : temperatura mínima del aire a la sombra en Pinedo para el periodo de retorno de 100 años.

$T_{máx}$ : temperatura máxima del aire a la sombra en Pinedo para el periodo de retorno de 100 años.

Ambos valores de las temperaturas se calculan previamente y están indicados en el apartado 4.3.1.1.1. de la IAP-11 (2012).

$\Delta T_{e,mín} = -3$  °C. (Tabla 4.3-b de la IAP-11).

$\Delta T_{e,máx} = +16$  °C. (Tabla 4.3-b de la IAP-11).

TIPO DE TABLERO	$\Delta T_{e,mín}$ (°C)	$\Delta T_{e,máx}$ (°C)
Tipo 1: Tablero de acero	-3	+16
Tipo 2: Tablero mixto	+4	+4
Tipo 1: Tablero de hormigón	+8	+2

Tabla 7. Valores de  $\Delta T_{e,mín}$  y  $\Delta T_{e,máx}$  para el cálculo de la componente uniforme de temperatura. (Fuente: Tabla 4.3-b de la IAP-11, 2012).

Sin embargo, según el apartado 4.3.3. de la IAP-11, existe una variación de las temperaturas uniformes entre el tablero y ciertos elementos que componen la pasarela como son las péndolas, cables o arcos.

En el caso de los cables y las péndolas metálicas, se da una diferencia positiva de +20 °C y una diferencia negativa de -10 °C.

En el caso de los arcos, se da una diferencia de temperatura de  $\pm 15$  °C.

Por lo tanto, se obtiene:

$$T_{e,mín,péndolas} = -8,55 - 10 = -18,55 \text{ °C}$$

$$T_{e,máx,péndolas} = 62,74 + 20 = 82,74 \text{ °C}$$

$$T_{e,mín,arcos} = -8,55 - 15 = -23,55 \text{ °C}$$

$$T_{e,máx,arcos} = 62,74 + 15 = 77,74 \text{ °C}$$

#### ▪ Rango de la componente uniforme de temperatura

Se calcula a continuación el rango de variación de la componente uniforme de temperatura para cada uno de los elementos que conforman la pasarela. A partir de las temperaturas máximas y mínimas anteriormente calculadas y a partir de  $T_0$  (temperatura media en el tablero en el momento de coacción del movimiento) se obtienen los rangos de temperatura que provocan la máxima dilatación ( $\Delta T_{N,exp}$ ) y contracción ( $\Delta T_{N,con}$ ) en los diferentes elementos estructurales de la pasarela. El valor de  $T_0$  se considera igual a 24 °C según la temperatura media en Pinedo extraída de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, anuario 1979).

Estos valores se calculan a partir de la siguiente fórmula:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,mín} \quad (10)$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,máx} - T_0 \quad (11)$$

obteniendo

$$\Delta T_{N,con,tablero} = -32,55 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,exp,tablero} = 38,74 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,con,arcos} = -47,55 \text{ °C}$$



$$\Delta T_{N,exp,arcos} = 53,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con,péndolas} = -42,55 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp,péndolas} = 58,74 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### ➤ COMPONENTE DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA

#### ▪ Diferencia vertical

Se procede a calcular a continuación la componente de diferencia vertical de temperatura para cada elemento por separado. Esta diferencia de temperatura, según lo expresado en la IAP-11 (2012), supone que, a lo largo de la vida útil de la pasarela, se da una diferencia vertical de temperatura en la sección del tablero debida a los sucesivos calentamientos y enfriamientos de esta, por lo que esta diferencia vertical tendrá un valor de máximo tanto para calentamiento como para enfriamiento.

El efecto de esta diferencia vertical de temperatura se tiene en cuenta en base a la *Tabla 4.3-d* de la IAP-11 (*Tabla 8* de este documento):

TIPO DE TABLERO	FIBRA SUPERIOR MÁS CALIENTE	FIBRA SUPERIOR MÁS FRÍA
	$\Delta T_{M,HEAT}$ (°C)	$\Delta T_{M,COOL}$ (°C)
Tipo 1: Tablero de acero	18	13
Tipo 3: Tablero de hormigón (sección de vigas)	15	8

*Tabla 8. Componente lineal de la diferencia vertical de temperatura para tableros tipo 1 y tipo 3. (Fuente: Tabla 4.3-d de la IAP-11, 2012).*

Para el caso que nos ocupa:

$$\Delta T_{M,HEAT} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{M,COOL} = 13 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Estos valores son los específicos para un espesor de pavimento de 50 mm, y la diferencia de temperatura varía en función del espesor de este, por lo que se debe ajustar esta temperatura multiplicándola por un coeficiente  $k_{sur}$  para la fibra superior más caliente y otro para la fibra superior más fría indicado en la *Tabla 4.3-e* de la Instrucción. En el primer caso,  $k_{sur}$  es igual a 0,7 y en el segundo es de 0,9; obteniendo finalmente que:

$$\Delta T_{M,HEAT} = 18 * 0,7 = 12,6 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{M,COOL} = 13 * 0,9 = 11,7 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Espesor de pavimento	Tablero tipo 1		Tablero tipo 3	
	Fibra superior más caliente	Fibra superior más fría	Fibra superior más caliente	Fibra superior más fría
	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$	$k_{sur}$
Sin impermeabilización ni pavimento	0,7	0,9	0,8	1,1

*Tabla 9. Coeficiente  $k_{sur}$  de influencia del tipo y espesor de pavimento. (Fuente: Tabla 4.3-e de la IAP-11, 2012).*



### ➤ SIMULTANEIDAD DE LA COMPONENTE UNIFORME Y DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA

Resulta necesario considerar también la posibilidad de que se den de forma simultánea la componente uniforme ( $\Delta T_{N,exp}$  o  $\Delta T_{N,con}$ ) y la diferencia de temperatura ( $\Delta T_{M,HEAT}$  o  $\Delta T_{M,COOL}$ ) mediante las siguientes expresiones mostradas en el apartado 4.3.1.3 de la IAP-11 (2012):

$$\Delta T_M + w_N * \Delta T_N$$

$$w_M * \Delta T_M + \Delta T_N$$

siendo:

$$w_N = 0,35$$

$$w_M = 0,75$$

De esta forma, se obtienen 8 combinaciones posibles para tener en cuenta la concomitancia de las componentes de la acción térmica:

$$1) \Delta T_{M,HEAT} + 0,35 * \Delta T_{N,con} = 1,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$2) \Delta T_{M,HEAT} + 0,35 * \Delta T_{N,exp} = 26,16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$3) \Delta T_{M,COOL} + 0,35 * \Delta T_{N,con} = 0,31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$4) \Delta T_{M,COOL} + 0,35 * \Delta T_{N,exp} = 25,26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$5) 0,75 * \Delta T_{M,HEAT} + \Delta T_{N,con} = -23,10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$6) 0,75 * \Delta T_{M,HEAT} + \Delta T_{N,exp} = 48,19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$7) 0,75 * \Delta T_{M,COOL} + \Delta T_{N,con} = -23,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$8) 0,75 * \Delta T_{M,COOL} + \Delta T_{N,exp} = 47,51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De todas estas combinaciones se obtiene que la más desfavorable es aquella que da como resultado 48,19 °C.

Se calcula el gradiente térmico que afecta a cada sección dividiendo la componente de diferencia de temperatura ( $\Delta T_{M,HEAT}$ ) entre el canto de cada sección, obteniendo los siguientes valores de gradiente térmico para los diferentes elementos. Para el cálculo de este gradiente se utiliza una modificación de  $\Delta T_{M,HEAT}$  para tener en cuenta la concomitancia de la componente uniforme y la diferencia de temperatura igual a  $0,75 * 12,6 = 9,45 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

- Gradiente arco: 29,18 °C/m
- Gradiente tablero: 47,25 °C/m
- Gradiente vigas de arriostramiento: 82,68 °C/m
- Gradiente vigas longitudinales: 23,63 °C/m

Con el mismo procedimiento seguido para esta alternativa, se procede a exponer las cargas variables de las restantes alternativas.

## 3.2.2. ALTERNATIVA 2

### 3.2.2.1. SOBRECARGA DE USO

En base a lo explicado en el apartado **SOBRECARGA DE USO** de la alternativa 1 de este documento, se disponen los siguientes valores de sobrecarga de uso en la pasarela:

- Sobrecarga vertical uniforme sobre el tablero de 5 kN/m<sup>2</sup>.
- Fuerza horizontal longitudinal de 0,5 kN/m<sup>2</sup>.





- Momento de la sobrecarga de uso debida a las barandillas igual a 2,25 kN\*m/m.
- Comprobación fuerza vertical puntual para viga biempotrada y biapoyada:

- Carga de 5 kN/m<sup>2</sup> y **viga biapoyada**:

Se convierte en una carga de 10 kN/m sobre cada viga transversal del tablero al multiplicar la carga uniforme por el área tributaria de estas vigas transversales (2 m).

$$M_{apoyos} = 0 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l^2}{8} = \frac{10 * 5,86^2}{8} = 42,92 \text{ kN} * m$$

- Carga puntual de 10 kN y **viga biapoyada**:

$$M_{apoyos} = 0 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l}{4} = \frac{10 * 5,86}{4} = 14,65 \text{ kN} * m$$

- Carga de 5 kN/m<sup>2</sup> y **viga biempotrada**:

Se convierte en una carga de 10 kN/m sobre cada viga transversal del tablero al multiplicar la carga uniforme por el área tributaria de estas vigas transversales (2 m).

$$M_{apoyos} = \frac{p * l^2}{12} = \frac{10 * 5,86^2}{12} = 28,62 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l^2}{24} = \frac{10 * 5,86^2}{24} = 14,3 \text{ kN} * m$$

- Carga puntual de 10 kN y **viga biempotrada**:

$$M_{apoyos} = \frac{p * l}{8} = \frac{10 * 5,86}{8} = 7,325 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l}{8} = \frac{10 * 5,86}{8} = 7,325 \text{ kN} * m$$

### 3.2.2.2. VIENTO

Conforme al apartado 4.2.1 de la IAP-11 (2012) y según lo explicado en el apartado **VIENTO** de la alternativa 1 de este documento, se calcula inicialmente la velocidad básica fundamental del viento en base a la *Figura 4.2-a.*, siendo  $V_{b,0} = 26$  m/s.

A partir de esta velocidad se obtiene la velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 100 años con la fórmula **(1)**, obteniendo  $V_b(100) = 27,04$  m/s.

Se calcula a continuación el empuje que produce el viento sobre cada uno de los elementos de la pasarela a partir de las fórmulas **(3)**, **(4)** y **(5)**.



▪ **VIENTO VERTICAL TABLERO**

$$F_{w,z}/A_{ref,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z=4,857$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=1,912$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z}=0,9$  según el apartado 4.2.5.1.2 de la IAP-11 (2012).

$$A_{ref,z} = 39,978 * 5,86 = 234,27 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,z} = 184,258 \text{ kN}$$

Se obtiene finalmente que  $F_{w,z}/A_{ref,z} = 0,7865 \text{ kN/m}^2$ .

▪ **VIENTO HORIZONTAL TABLERO**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z=4,857$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=1,912$ .

$$A_{ref,y} = 39,978 * 0,4 = 15,99 \text{ m}^2.$$

Coefficiente de fuerza  $c_{f,y} = 2,5 - 0,3 * (B/h_{eq}) = 2,138$  del apartado 4.2.5 de la IAP-11 (2012).

donde:

B: anchura total del tablero: 5,86 m.

$h_{eq}$ : altura equivalente igual a 5 m. Para el cálculo de esta altura equivalente se tiene en cuenta la distancia desde el tablero hasta la superficie del terreno.

$F_{w,y} = 29,879 \text{ kN}$ , que dividido entre la longitud de una viga longitudinal lateral se obtienen 0,747 kN/m.

▪ **VIENTO LONGITUDINAL TABLERO**

25% del empuje horizontal: 7,47 kN

Longitud integral de turbulencia L(z): 43,4 m.

Coefficiente reductor: 0,87

$F_{w,x} = 0,16 \text{ kN/m}$  por viga longitudinal

▪ **VIENTO VERTICAL CORDÓN SUPERIOR**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z=8,6$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,26$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z}$ , que se toma igual a 1,2 según la figura 4.2-b de la IAP-11 (2012) para sección circular y superficie rugosa.



$$A_{ref,z} = 39,978 * 0,2 = 8 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,z} = 0,248 \text{ kN/m por cordón.}$$

▪ **VIENTO HORIZONTAL CORDÓN SUPERIOR**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z=8,6 \text{ m}$ .

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,26$ .

$$A_{ref,y} = 39,978 * 0,2 = 8 \text{ m}^2.$$

Coefficiente de fuerza  $c_{f,y}=1,2$  según la figura 4.2-b de la IAP-11 (2012) para sección circular y superficie rugosa.

$F_{w,y} = 9,897 \text{ kN}$ , que dividido entre la longitud de una viga longitudinal lateral se obtienen  $0,248 \text{ kN/m}$ .

▪ **VIENTO LONGITUDINAL CORDÓN SUPERIOR**

25% del empuje horizontal:  $2,47 \text{ kN}$

Longitud integral de turbulencia  $L(z)$ :  $58,4 \text{ m}$ .

Coefficiente reductor:  $0,91$

$$F_{w,x} = 0,056 \text{ kN/m por cordón superior.}$$

▪ **VIENTO VERTICAL DIAGONALES**

Se considera que las diagonales no se ven afectadas directamente por el viento vertical ya que es principalmente el cordón superior el que se ve sometido a esta fuerza.

▪ **VIENTO HORIZONTAL DIAGONALES**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 10,214 \text{ m}$ .

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,26$ .

$$A_{ref,y} = 74,3 * 0,15 = 11,15 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,y} = 0,186 \text{ kN/m sobre cada diagonal.}$$

▪ **VIENTO LONGITUDINAL DIAGONALES**

No se considera que las diagonales vayan a soportar viento longitudinal ya que es el cordón superior y únicamente la primera diagonal los que absorben esta acción, además de que, tras haberla calculado, su efecto sobre la estructura es prácticamente despreciable.



▪ **VIENTO VERTICAL VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO**

No se considera el viento sobre las vigas de arriostramiento ya que, al ser estos elementos de dimensiones pequeñas y habiéndolo calculado, el efecto sobre la estructura es despreciable.

▪ **VIENTO VERTICAL BARANDILLAS**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z=6,657$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,10$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z}$ , que se toma igual a 2,2 según el apartado 4.2.7 de la IAP-11 (2012), que expone que para secciones no incluidas en la tabla 4.2-b se tome 2,2 como valor de  $C_f$ .

$$A_{ref,z} = 39,978 * 0,2 = 8 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,z} = 0,422 \text{ kN/m por barandilla.}$$

▪ **VIENTO HORIZONTAL BARANDILLAS**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z=6,657$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,10$ .

$$A_{ref,y} = 39,978 * 1,5 = 59,97 \text{ m}^2.$$

$F_{w,y} = 3,167$  kN/m por barandilla, que genera un momento de 2,375 kN\*m/m sobre cada viga longitudinal lateral.

▪ **VIENTO LONGITUDINAL BARANDILLAS**

25% del empuje horizontal: 31,65 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z) = 49,9$  m.

Coefficiente reductor: 0,90

$F_{w,x} = 0,716$  kN/m por barandilla, que genera un momento de eje x de 1,074 kN\*m/m sobre las vigas longitudinales laterales.

**3.2.2.3. ACCIÓN TÉRMICA**

Para llevar a cabo el cálculo de la acción térmica sobre la alternativa 2, se sigue lo indicado en el apartado **ACCIÓN TÉRMICA** de la alternativa 1 de este documento, realizando el mismo procedimiento expuesto anteriormente según las expresiones **(6)**, **(7)**, **(8)**, **(9)**, **(10)** y **(11)** y obteniendo los siguientes valores:



➤ **COMPONENTE UNIFORME DE LA TEMPERATURA DEL TABLERO**

▪ **Temperatura máxima y mínima del aire**

$$T_{m\acute{a}x,100} = 46,74 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{m\acute{i}n,100} = -5,55 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

▪ **Componente uniforme de temperatura**

$$T_{e,m\acute{i}n} = -8,55 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{e,m\acute{a}x} = 62,74 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

En este caso, al no existir ni arcos ni péndolas, la componente uniforme de temperatura es la misma para todos los elementos de la pasarela.

▪ **Rango de la componente uniforme de temperatura**

$$\Delta T_{N,con} = -32,55 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta T_{N,exp} = 38,74 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

➤ **COMPONENTE DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA**

▪ **Diferencia vertical y simultaneidad de la componente uniforme y de la diferencia de temperatura**

En base a la *Tabla 8* y la *Tabla 9* se obtiene que  $\Delta T_{M,HEAT} = 12,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $\Delta T_{M,COOL} = 11,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , y realizando las combinaciones de concomitancia de la componente uniforme y la diferencia de temperatura se obtienen los gradientes relativos a cada uno de los elementos estructurales:

- Gradiente cordón superior:  $37,80 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- Gradiente tablero:  $47,25 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- Gradiente vigas de arriostramiento:  $63 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$
- Gradiente vigas longitudinales:  $23,63 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$

### 3.2.3. ALTERNATIVA 3

#### 3.2.3.1. SOBRECARGA DE USO

Según lo explicado en el apartado **SOBRECARGA DE USO** de la alternativa 1 de este documento, se disponen los siguientes valores de sobrecarga de uso en la pasarela:

- Sobrecarga vertical uniforme sobre el tablero de  $5 \text{ kN}/\text{m}^2$ .
- Fuerza horizontal longitudinal de  $0,5 \text{ kN}/\text{m}^2$ .
- Momento de la sobrecarga de uso debida a las barandillas igual a  $2,25 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$ .
- Sobrecarga de uso de barandillas de  $1,5 \text{ kN}/\text{m}$ . Esta fuerza perpendicular al elemento superior de la barandilla se traduce en una fuerza por unidad de superficie de  $4 \text{ kN}/\text{m}^2$  al dividirla entre el área de barandilla que va a afectar.

#### 3.2.3.2. VIENTO

Conforme al apartado 4.2.1 de la IAP-11 y según lo explicado en el apartado **VIENTO** de la alternativa 1 de este documento, se calcula inicialmente la velocidad básica fundamental del viento en base a la *Figura 4.2-a.*, siendo  $V_{b,0} = 26 \text{ m}/\text{s}$ .



A partir de esta velocidad se obtiene la velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 100 años con la fórmula (1), obteniendo  $V_b(100) = 27,04$  m/s.

Se calcula a continuación el empuje que produce el viento sobre cada uno de los elementos de la pasarela a partir de las fórmulas (3), (4) y (5).

▪ **VIENTO VERTICAL TABLERO**

$$F_{w,z} / A_{ref,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 4,857$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z) = 1,912$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical  $c_{f,z}$ , que se toma igual a 0,9 según el apartado 4.2.5.1.2 de la IAP-11 (2012).

$$A_{ref,z} = 18,74 * 5,86 = 109,82 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,z} = 86,372 \text{ kN}$$

Se obtiene finalmente que  $F_{w,z} / A_{ref,z} = 0,7865 \text{ kN/m}^2$ .

▪ **VIENTO HORIZONTAL TABLERO**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 4,857$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z) = 1,912$ .

$$A_{ref,y} = 18,74 * 0,3 = 5,62 \text{ m}^2.$$

Coefficiente de fuerza  $c_{f,y} = 2,5 - 0,3 * (B/h_{eq}) = 2,138$  del apartado 4.2.5 de la IAP-11 (2012).

donde:

B: anchura total del tablero: 5,86 m.

$h_{eq}$ : altura equivalente igual a 5 m. Para el cálculo de esta altura equivalente se tiene en cuenta la distancia desde el tablero hasta la superficie del terreno.

$F_{w,y} = 10,504$  kN, que dividido entre la longitud de una viga longitudinal lateral y dividido a su vez por el espesor de 30 cm del piso se obtiene una carga de  $1,868 \text{ kN/m}^2$ .

▪ **VIENTO LONGITUDINAL TABLERO**

25% del empuje horizontal: 2,63 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z) = 43,4$  m.

Coefficiente reductor: 0,95

$F_{w,x} = 2,50$  kN; que dividiéndolo entre la longitud del tablero y a su vez entre el espesor del piso se obtiene  $F_{w,x} = 0,45 \text{ kN/m}^2$ .





▪ **VIENTO VERTICAL VIGAS LONGITUDINALES**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z=6,7$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,10$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical  $Z$   $c_{f,z}$ , que se toma igual a 0,98 según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de la IAP-11 ya que el espesor dividido entre el canto de la sección es mayor que 0,5.

$$A_{ref,z} = 18,74 * 0,25 = 4,69 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,z} = 0,235 \text{ kN/m por viga.}$$

▪ **VIENTO HORIZONTAL VIGAS LONGITUDINALES**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z=6,7$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,10$ .

$A_{ref,y} = 18,74 * 1,5 = 28,11 \text{ m}^2$ . Área que queda reducida a  $24,183 \text{ m}^2$  debido a la existencia de orificios a lo largo de la pasarela.

$$F_{w,y} = 2,476 \text{ kN/m por viga.}$$

▪ **VIENTO LONGITUDINAL VIGAS LONGITUDINALES**

25% del empuje horizontal: 11,60 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z)=51,1$  m.

Coefficiente reductor: 0,97

$$F_{w,x} = 0,60 \text{ kN/m por viga.}$$

**3.2.3.3. ACCIÓN TÉRMICA**

Para llevar a cabo el cálculo de la acción térmica sobre la pasarela se sigue lo indicado en el apartado **ACCIÓN TÉRMICA** de la alternativa 1 de este documento, realizando el mismo procedimiento expuesto anteriormente según las expresiones **(6)**, **(7)**, **(8)**, **(9)**, **(10)** y **(11)** con la modificación de que en este caso el tablero es de tipo 3 al ser un tablero de hormigón armado. Se obtienen los siguientes valores:

➤ **COMPONENTE UNIFORME DE LA TEMPERATURA DEL TABLERO**

▪ **Temperatura máxima y mínima del aire**

$$T_{máx,100} = 46,74 \text{ °C.}$$

$$T_{mín,100} = -5,55 \text{ °C.}$$



▪ **Componente uniforme de temperatura**

$T_{e,mín} = 2,45$  °C. (ya que el  $\Delta T_{e,mín} = +8$  °C según *Tabla 4.3-b* de la IAP-11, 2012).

$T_{e,máx} = 48,74$  °C. (ya que el  $\Delta T_{e,máx} = +2$  °C según la *Tabla 4.3-b* de la IAP-11, 2012).

En esta alternativa no existen arcos ni péndolas, por lo que la componente uniforme de temperatura es igual para todos los elementos.

▪ **Rango de la componente uniforme de temperatura**

$\Delta T_{N,con} = -21,55$  °C.

$\Delta T_{N,exp} = 24,74$  °C.

➤ **COMPONENTE DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA**

▪ **Diferencia vertical y simultaneidad de la componente uniforme y de la diferencia de temperatura**

En el caso de la alternativa 3, los valores de la diferencia de temperatura  $\Delta T_{M,HEAT}$  y  $\Delta T_{M,COOL}$  varían según la *Tabla 4.3-d* de la IAP-11 (*Tabla 8* de este documento), 2012, siendo estos valores de 15 °C y 8 °C respectivamente, que multiplicados por los coeficientes para tablero tipo 3 de la *Tabla 4.3-e* (*Tabla 9* de este documento) de la IAP-11 se obtiene:

$\Delta T_{M,HEAT} = 12$  °C

$\Delta T_{M,COOL} = 8,8$  °C.

Las combinaciones debidas a la concomitancia entre la componente uniforme de la temperatura y la diferencia de temperatura varían respecto al resto de alternativas, siendo en este caso:

1)  $\Delta T_{M,HEAT} + 0,35 * \Delta T_{N,con} = 4,46$  °C

2)  $\Delta T_{M,HEAT} + 0,35 * \Delta T_{N,exp} = 20,66$  °C

3)  $\Delta T_{M,COOL} + 0,35 * \Delta T_{N,con} = 1,26$  °C

4)  $\Delta T_{M,COOL} + 0,35 * \Delta T_{N,exp} = 17,46$  °C

5)  $0,75 * \Delta T_{M,HEAT} + \Delta T_{N,con} = -12,55$  °C

6)  $0,75 * \Delta T_{M,HEAT} + \Delta T_{N,exp} = 33,74$  °C

7)  $0,75 * \Delta T_{M,COOL} + \Delta T_{N,con} = -14,95$  °C

8)  $0,75 * \Delta T_{M,COOL} + \Delta T_{N,exp} = 31,34$  °C

De todas estas combinaciones se obtiene que la más desfavorable es aquella que da como resultado  $0,75 * \Delta T_{M,HEAT} + \Delta T_{N,exp} = 33,74$  °C, obteniendo el siguiente gradiente térmico con un valor modificado de  $\Delta T_{M,HEAT}$  de  $0,75 * 12 = 9$  °C :

- Gradiente tablero: 30 °C/m



### 3.2.4. ALTERNATIVA 4

#### 3.2.4.1. SOBRECARGA DE USO

En base a lo explicado en el apartado **SOBRECARGA DE USO** de la alternativa 1 de este documento, se disponen los siguientes valores de sobrecarga de uso en la pasarela:

- Sobrecarga vertical uniforme sobre el tablero de 5 kN/m<sup>2</sup>.
- Fuerza horizontal longitudinal de 0,5 kN/m<sup>2</sup>.
- Momento de la sobrecarga de uso debida a las barandillas igual a 2,25 kN\*m/m.
- Comprobación fuerza vertical puntual para viga biempotrada y biapoyada:

- Carga de 5 kN/m<sup>2</sup> y **viga biapoyada**:

Se convierte en una carga de 12,5 kN/m sobre cada viga transversal del tablero al multiplicar la carga uniforme por el área tributaria de estas vigas transversales (2,5 m).

$$M_{apoyos} = 0 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l^2}{8} = \frac{12,5 * 5,86^2}{8} = 53,66 \text{ kN} * m$$

- Carga puntual de 10 kN y **viga biapoyada**:

$$M_{apoyos} = 0 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l}{4} = \frac{10 * 5,86}{4} = 14,65 \text{ kN} * m$$

- Carga de 5 kN/m<sup>2</sup> y **viga biempotrada**:

Se convierte en una carga de 12,5 kN/m sobre cada viga transversal del tablero al multiplicar la carga uniforme por el área tributaria de estas vigas transversales (2,5 m).

$$M_{apoyos} = \frac{p * l^2}{12} = \frac{12,5 * 5,86^2}{12} = 35,77 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l^2}{24} = \frac{12,5 * 5,86^2}{24} = 17,88 \text{ kN} * m$$

- Carga puntual de 10 kN y **viga biempotrada**:

$$M_{apoyos} = \frac{p * l}{8} = \frac{10 * 5,86}{8} = 7,325 \text{ kN} * m$$

$$M_{centro luz} = \frac{p * l}{8} = \frac{10 * 5,86}{8} = 7,325 \text{ kN} * m$$

#### 3.2.4.2. VIENTO

Conforme al apartado 4.2.1 de la IAP-11 y según lo explicado en el apartado **VIENTO** de la alternativa 1 de este documento, se calcula inicialmente la velocidad básica fundamental del viento en base a la *Figura 4.2-a.*, siendo  $V_{b,0} = 26 \text{ m/s}$ .



A partir de esta velocidad básica fundamental se obtiene la velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 100 años con la fórmula (1), obteniendo  $V_b(100) = 27,04$  m/s.

Se calcula a continuación el empuje que produce el viento sobre cada uno de los elementos de la pasarela a partir de las fórmulas (3), (4) y (5).

▪ **VIENTO VERTICAL TABLERO**

$$F_{w,z} / A_{ref,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z=4,857$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=1,912$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical  $c_{f,z}$ , que se toma igual a 0,9 según el apartado 4.2.5.1.2 de la IAP-11 (2012).

$$A_{ref,z} = 39,978 * 5,86 = 234,27 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,z} = 184,258 \text{ kN}$$

Se obtiene finalmente que  $F_{w,z} / A_{ref,z} = 0,7865 \text{ kN/m}^2$ .

▪ **VIENTO HORIZONTAL TABLERO**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z=4,857$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=1,912$ .

$$A_{ref,y} = 39,978 * 0,4 = 15,99 \text{ m}^2.$$

Coefficiente de fuerza  $c_{f,y} = 2,5 - 0,3 * (B/h_{eq}) = 2,138$  del apartado 4.2.5 de la IAP-11 (2012).

donde:

B: anchura total del tablero: 5,86 m.

$h_{eq}$ : altura equivalente igual a 5 m. Para el cálculo de esta altura equivalente se tiene en cuenta la distancia desde el tablero hasta la superficie del terreno.

$F_{w,y} = 29,879$  kN, que dividido entre la longitud de una viga longitudinal lateral se obtienen 0,747 kN/m.

▪ **VIENTO LONGITUDINAL TABLERO**

25% del empuje horizontal: 7,47 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z) = 43,4$  m.

Coefficiente reductor: 0,87

$F_{w,x} = 0,16$  kN/m por viga longitudinal.



▪ **VIENTO VERTICAL ARCOS**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$

Altura del punto de aplicación  $z=10,214$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,37$ .

Coefficiente de fuerza en dirección vertical Z  $c_{f,z}$ , que se toma igual a 1,2 según la *Figura 4.2-b* de la IAP-11 (2012) para sección circular y superficie rugosa.

$$A_{ref,z} = 39,978 * 0,3239 = 12,95 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,z} = 0,420 \text{ kN/m por arco.}$$

▪ **VIENTO HORIZONTAL ARCOS**

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z=10,214$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z)=2,37$ .

$$A_{ref,y} = 41,663 * 0,3239 = 13,49 \text{ m}^2.$$

$$F_{w,y} = 0,420 \text{ kN/m por arco.}$$

▪ **VIENTO LONGITUDINAL ARCOS**

25% del empuje horizontal: 4,38 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z)=63,9$  m.

Coefficiente reductor: 0,91

$$F_{w,x} = 0,10 \text{ kN/m por arco.}$$

▪ **VIENTO VERTICAL VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO**

No se considera el viento vertical sobre las vigas de arriostramiento ya que, al ser estos elementos de dimensiones pequeñas y habiéndolo calculado, el efecto sobre la estructura es despreciable.

▪ **VIENTO LONGITUDINAL VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO**

No se considera el viento longitudinal sobre las vigas de arriostramiento ya que, al ser estos elementos de dimensiones pequeñas y habiéndolo calculado, el efecto sobre la estructura es despreciable.

▪ **VIENTO VERTICAL BARANDILLAS**

$$F_{w,z} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,z} * A_{ref,z}$$



Altura del punto de aplicación  $z = 6,657$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z) = 2,10$ .

$c_{f,z}$ : coeficiente de fuerza en dirección vertical Z, que se toma igual a 2,2 según el apartado 4.2.7 de la IAP-11 (2012), que expone que para secciones no incluidas en la *Tabla 4.2-b* de la IAP-11 (2012) se tome 2,2 como valor de  $C_f$ .

$A_{ref,z} = 39,978 * 0,2 = 8$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,z} = 0,422$  kN/m por barandilla.

#### ▪ VIENTO HORIZONTAL BARANDILLAS

$$F_{w,y} = \left[ \frac{1}{2} * \rho * v_b^2(T) \right] * c_e(z) * c_{f,y} * A_{ref,y}$$

Altura del punto de aplicación  $z = 6,657$  m.

Coefficiente de exposición  $c_e(z) = 2,10$ .

$A_{ref,y} = 39,978 * 1,5 = 59,97$  m<sup>2</sup>.

$F_{w,y} = 3,167$  kN/m por barandilla, que genera un momento de 2,375 kN\*m/m sobre cada viga longitudinal lateral.

#### ▪ VIENTO LONGITUDINAL BARANDILLAS

25% del empuje horizontal: 31,65 kN

Longitud integral de turbulencia  $L(z) = 49,9$  m.

Coefficiente reductor: 0,91

$F_{w,x} = 0,72$  kN/m por barandilla, que genera un momento de eje x de 1,086 kN\*m/m sobre las vigas longitudinales laterales.

#### 3.2.4.3. ACCIÓN TÉRMICA

Para llevar a cabo el cálculo de la acción térmica sobre la pasarela se sigue lo indicado en el apartado **ACCIÓN TÉRMICA** de la alternativa 1 de este documento, realizando el mismo procedimiento expuesto anteriormente según las expresiones **(6)**, **(7)**, **(8)**, **(9)**, **(10)** y **(11)** y obteniendo los siguientes valores:

##### ➤ COMPONENTE UNIFORME DE LA TEMPERATURA DEL TABLERO

#### ▪ Temperatura máxima y mínima del aire

$T_{máx,100} = 46,74$  °C.

$T_{mín,100} = -5,55$  °C.

#### ▪ Componente uniforme de temperatura

En este caso, sí que es necesario el cálculo de la componente uniforme de temperatura para otros elementos como los arcos o las péndolas, tal y como se realiza en la alternativa 1.

$T_{e,mín,tablero} = -8,55$  °C.





$$T_{e,máx,tablero} = 62,74 \text{ °C.}$$

$$T_{e,mín,arcos} = -23,55 \text{ °C.}$$

$$T_{e,máx,arcos} = 77,74 \text{ °C.}$$

$$T_{e,mín,péndolas} = -18,55 \text{ °C.}$$

$$T_{e,máx,péndolas} = 82,74 \text{ °C.}$$

- **Rango de la componente uniforme de temperatura**

$$\Delta T_{N,con,tablero} = -32,55 \text{ °C.}$$

$$\Delta T_{N,exp,tablero} = 38,74 \text{ °C.}$$

$$\Delta T_{N,con,arcos} = -47,55 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,exp,arcos} = 53,74 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,con,péndolas} = -42,55 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{N,exp,péndolas} = 58,74 \text{ °C}$$

- **COMPONENTE DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA**

- **Diferencia vertical y simultaneidad de la componente uniforme y de la diferencia de temperatura.**

Tal y como se realiza para las alternativas 1 y 2, al ser una estructura de acero, se obtiene según la *Tabla 8* y *Tabla 9* de este documento que  $\Delta T_{M,HEAT} = 12,6 \text{ °C}$  y  $\Delta T_{M,COOL} = 11,7 \text{ °C}$ , y realizando las combinaciones de concomitancia de la componente uniforme y la diferencia de

temperatura se obtienen los siguientes valores de los gradientes de cada uno de los elementos de la pasarela:

- Gradiente arco:  $29,18 \text{ °C/m}$
- Gradiente tablero:  $47,25 \text{ °C/m}$
- Gradiente vigas de arriostamiento:  $82,68 \text{ °C/m}$
- Gradiente vigas longitudinales:  $23,63 \text{ °C/m}$

## 4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### 4.1. MODELO DE CÁLCULO EMPLEADO

#### 4.1.1. ALTERNATIVAS 1,2 Y 4

Para llevar a cabo la introducción de cada una de las pasarelas para su posterior análisis estructural, se han seguido una serie de pasos con el programa informático SAP2000 descritos a continuación:

- 1) Se genera un nuevo modelo con el sistema de grillas, a través del que se introducen las coordenadas de los puntos extremos de las diferentes pasarelas, generando así un entramado de líneas que posteriormente sirven para dar ubicación a las vigas que conforman la estructura.
- 2) Se introducen los materiales a emplear a partir de la base de datos que posee el programa. También se introducen las diferentes secciones, dibujando posteriormente sobre las líneas de grilla cada una de las vigas consideradas. Además, para recrear el piso del tablero, se crea un área que ocupa de un extremo a otro del tablero. Este área se divide en primer lugar en aquellos puntos en



los que interseca con todas las vigas para posteriormente dividirlo en un número de partes en sentido transversal del tablero y en otro en sentido longitudinal, en función de la longitud de la pasarela. Esto se realiza ya que el programa SAP2000 trabaja con elementos finitos y analiza cada uno de los elementos introducidos, por lo que, cuantos más elementos y más pequeños sean estos, el análisis es mucho más exacto y se recrea de la mejor manera posible la transmisión de cargas y el comportamiento real de la estructura.

- 3) Se generan todas las cargas que se quieran introducir en el modelo a excepción del peso propio y la carga muerta debida al piso, ya que es considerado por el programa a través de la información que posee sobre los materiales y las secciones introducidos anteriormente.
- 4) Se introducen las diferentes combinaciones de acciones, tanto de estado límite último como de estado límite de servicio, que se plantean en el apartado **HIPÓTESIS DE CARGA** de este documento.
- 5) Una vez se tienen todas las cargas y combinaciones de acciones definidas, se procede a introducir los valores de las cargas en cada una de las vigas y áreas generadas.
- 6) Se establece, a partir de las opciones de análisis, un análisis en tres dimensiones de la estructura, y posteriormente el programa analiza la estructura para las cargas introducidas.
- 7) Se obtienen todos los esfuerzos de axil, momento y cortante para cada uno de los elementos, para posteriormente comprobar si estos esfuerzos de cálculo son superiores a sus respectivas resistencias. También se obtienen otros resultados como las deformadas o el coeficiente de aprovechamiento de cada alternativa.

El modelo introducido y empleado en el programa SAP2000 es una estructura tridimensional formada por un conjunto de barras que se

comunican entre sí por medio de nudos. Las vigas longitudinales se modelizan como unos elementos rectos de sección constante definidos previamente con el programa. Las vigas transversales se introducen de la misma forma, estando conectadas a las dos vigas longitudinales a través de nudos. A su vez, las vigas longitudinales de piso se conectan por medio de nudos a las vigas transversales de piso existentes en toda la longitud del tablero.

La modelización de los arcos correspondientes a las alternativas 1 y 4 se lleva a cabo mediante un elemento curvo único que une los dos extremos de las pasarelas, estando estos elementos separados en suficientes partes para poder obtener unas leyes de esfuerzos con la mayor precisión posible. Además, para poder recrear de forma correcta la inclinación de los arcos de la alternativa 1, se realizan en primer lugar uno de los arcos en un plano vertical para posteriormente inclinarlo los grados correspondientes. Se finaliza realizando, mediante una función de SAP2000, un espejo de este arco para que sea idéntico al anterior.

Las vigas de arriostramiento de las diferentes alternativas se modelizan por medio de barras rectas de sección constante conectadas a través de nudos a los arcos laterales en el caso de las alternativas 1 y 4 y a los cordones superiores en el caso de la alternativa 2.

Asimismo, las péndolas de la alternativa 1, las diagonales de la alternativa 2 y los cables de la alternativa 4, se modelizan como elementos rectos que se unen a las vigas longitudinales y a los arcos o cordones superiores, según el caso, mediante nudos.

La losa de hormigón del pavimento se modeliza mediante la opción SHELL del programa SAP2000 y se conecta a las vigas tanto longitudinales como transversales a través de nudos. Este elemento área se divide en las suficientes partes como para poder recrear la correcta transmisión de esfuerzos entre los diferentes elementos, según se explica anteriormente.



Se muestra en las figuras siguientes la asignación de nudos y barras para las alternativas 1,2 y 4.

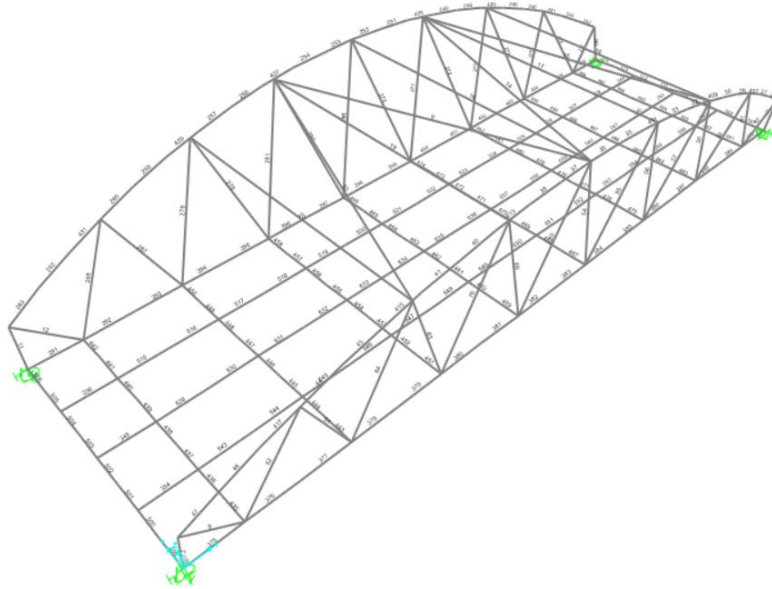


Figura 2. Numeración de las barras alternativa 1. (Fuente: SAP2000).

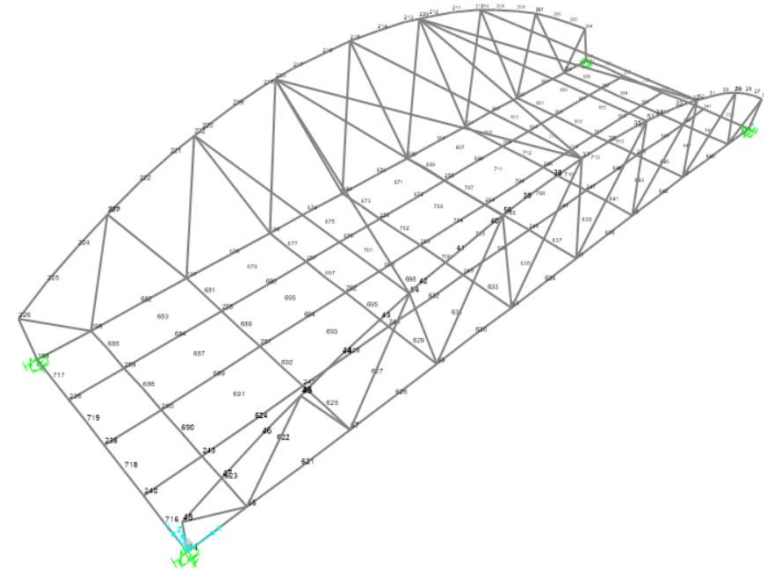


Figura 3. Numeración de los nudos alternativa 1. (Fuente: SAP2000)

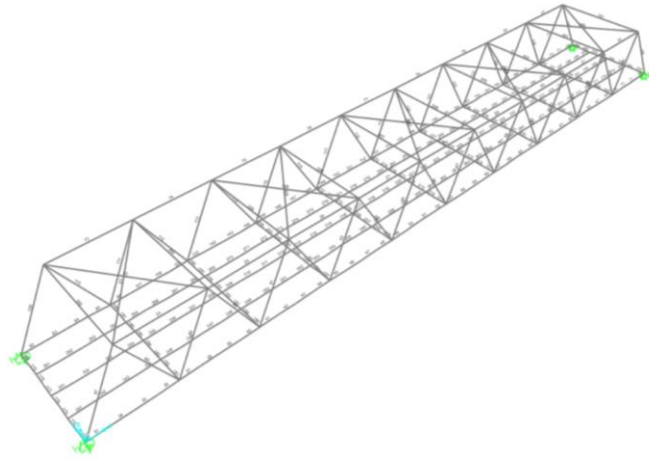


Figura 4. Numeración de las barras alternativa 2. (Fuente: SAP2000).

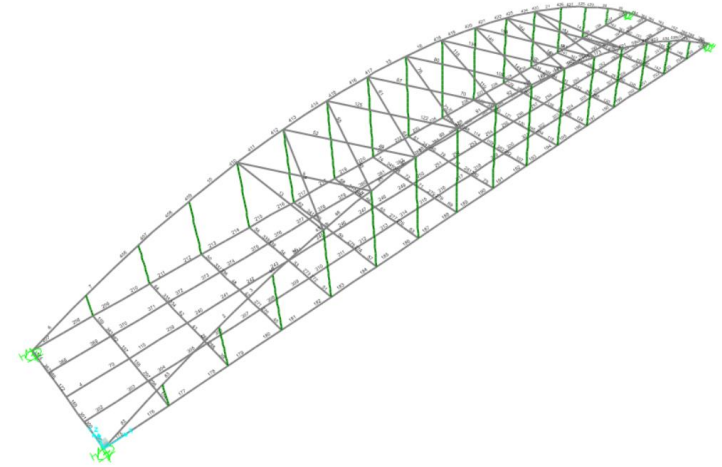


Figura 6. Numeración de las barras alternativa 4. (Fuente: SAP2000).

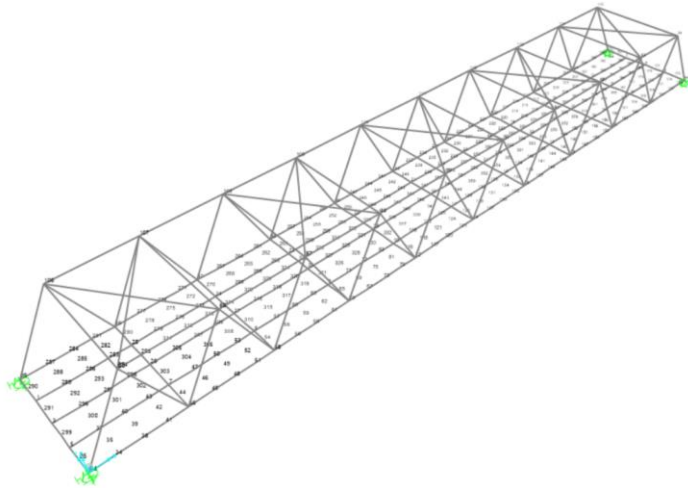


Figura 5. Numeración de los nudos alternativa 2. (Fuente: SAP2000).

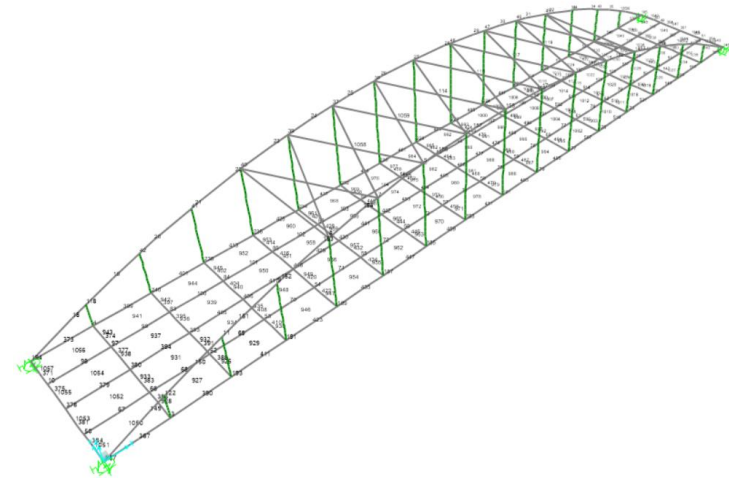


Figura 7. Numeración de los nudos alternativa 4. (Fuente: SAP2000).



Se incluyen a continuación diferentes tablas cuyos datos están extraídos de SAP2000 acerca de las características de los materiales empleados para cada una de las alternativas:

▪ **ALTERNATIVA 1**

Material	Peso específico	Unidad de masa	E1	G1
	kN/m <sup>3</sup>	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
C20/25	24,99	2,55	30000000	12500000
S355	76,97	7,85	210000000	80769230,77

Tabla 10. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 1. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>	EffF <sub>y</sub>	EffF <sub>u</sub>
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
S355	355000	510000	390500	561000

Tabla 11. Propiedades de los materiales- acero. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>c</sub>	eF <sub>c</sub>	SSCurveOpt	SSHysType
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		
C20/25	20000	20000	Mander	Takeda

Tabla 12. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000).

▪ **ALTERNATIVA 2**

Material	Peso específico	Unidad de masa	E1	G1
	kN/m <sup>3</sup>	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
C20/25	24,99	2,55	30000000	12500000
S355	76,97	7,85	210000000	80769230,77

Tabla 13. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 2. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>	EffF <sub>y</sub>	EffF <sub>u</sub>
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
S355	355000	510000	390500	561000

Tabla 14. Propiedades de los materiales- acero. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>c</sub>	eF <sub>c</sub>	SSCurveOpt	SSHysType
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		
C20/25	20000	20000	Mander	Takeda

Tabla 15. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000).



▪ **ALTERNATIVA 4**

Material	Peso específico	Unidad de masa	E1	G1
	kN/m <sup>3</sup>	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
C20/25	24,99	2,55	30000000	12500000
S355	76,97	7,85	210000000	80769230,77
Tendon	76,9728639	7,84904737	196500599	-

Tabla 16. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 4. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>	EffF <sub>y</sub>	EffF <sub>u</sub>
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
S355	355000	510000	390500	561000

Tabla 17. Propiedades de los materiales- acero. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>c</sub>	eF <sub>c</sub>	SSCurveOpt	SSHysType
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		
C20/25	20000	20000	Mander	Takeda

Tabla 18. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>	SSCurveOpt	SSHysType
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		
Tendon	1689905,16	1861584,63	270 ksi	Kinematic

Tabla 19. Propiedades de los materiales- cables. (Fuente: SAP2000).

Se muestran en el anexo SAP2000 de este documento un conjunto de tablas de definición de las secciones que se han asignado a cada uno de los elementos que conforman las alternativas, con una imagen que muestra cada una de las secciones.

4.1.2. ALTERNATIVA 3

En el caso de la alternativa de hormigón armado in situ, se realiza la estructura a base de un conjunto de áreas. Estas se diferencian en dos principalmente:

Por un lado, el área que conforma el piso del tablero, que se introduce por medio de la opción *SHELL* con un espesor de 30 cm. Por otro lado, se introduce en el modelo las áreas relativas a las vigas laterales, con la misma opción anteriormente mencionada, pero con un espesor de 25 cm.

En el caso particular de las zonas cercanas a los orificios en las vigas laterales, se generan un conjunto de triángulos y rectángulos para que la conexión entre áreas sea la idónea y poder llevar a cabo una correcta transmisión de cargas de unas áreas a otras.

Tanto el piso como las vigas laterales se dividen en áreas más pequeñas que se conectan entre sí por medio de nudos.

A cada una de estas áreas se le ha asignado un material definido anteriormente. Este material es hormigón armado HA-35, introduciendo también las barras corrugadas B500S.

En las figuras siguientes se indican las numeraciones de las áreas y de los nudos para la alternativa 3, mostrándose posteriormente los materiales empleados en el modelo:



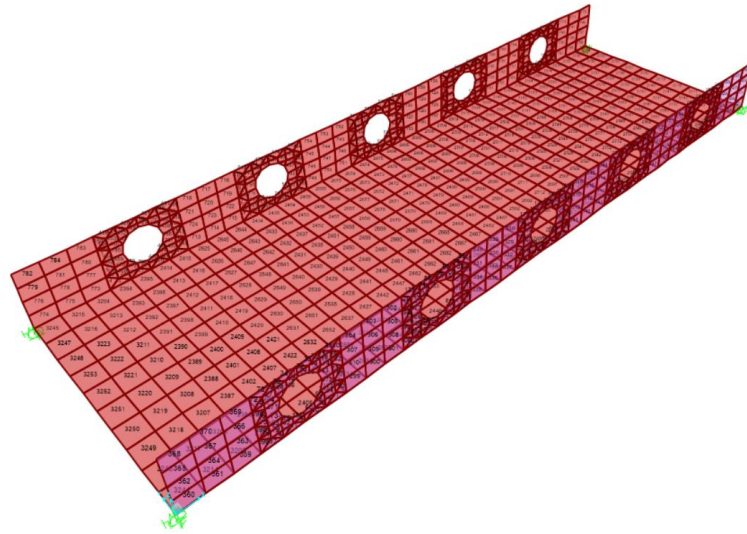


Figura 8. Numeración de las áreas alternativa 3. (Fuente: SAP2000).

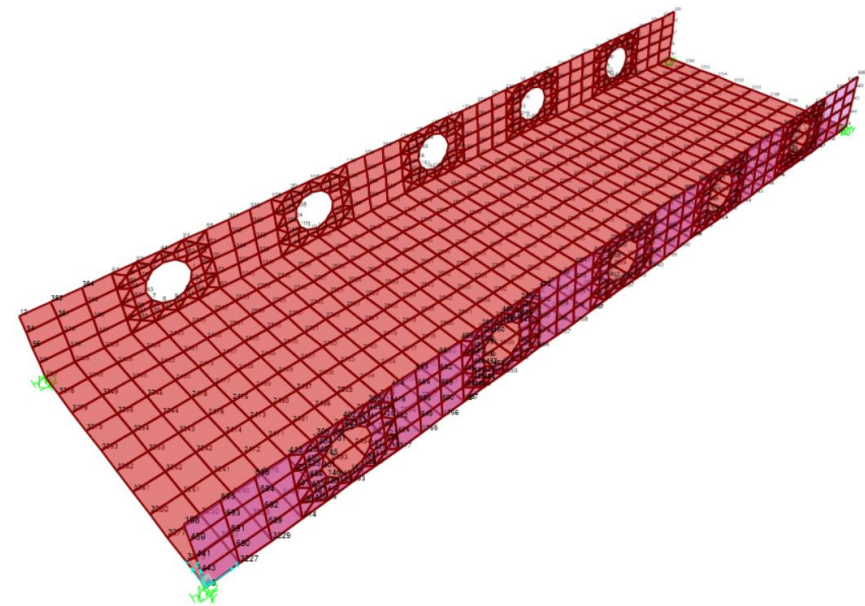


Figura 9. Numeración de los nudos alternativa 3. (Fuente: SAP2000).

Material	Tipo	Grado	SymType	TempDepend
B500S	Barras	-	Uniaxial	No
HA-35	Hormigón	HA-35	Isotropic	No

Tabla 20. Propiedades de los materiales alternativa 3. (Fuente: SAP2000).



Material	Peso específico	Unidad de masa	E1	G12	A1
	kN/m <sup>3</sup>	kN-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	1/C
B500S	0	0	200000000	-	1,16999E-05
HA-35	24,99	2,55	34990188	14579245	5,5E-06

Tabla 21. Propiedades mecánicas básicas de los materiales alternativa 3. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>y</sub>	F <sub>u</sub>	EffF <sub>y</sub>	EffF <sub>u</sub>
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
B500S	500000	550000	455054	682581

Tabla 22. Propiedades de los materiales- acero B500S. (Fuente: SAP2000).

Material	F <sub>c</sub>	eF <sub>c</sub>	SSCurveOpt	SSHysType
	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>		
HA-35	35000	35000	Mander	Takeda

Tabla 23. Propiedades de los materiales- hormigón. (Fuente: SAP2000).

En el anexo SAP2000 de este documento se indican unas tablas de definición de las áreas empleadas en esta alternativa con una imagen que muestra cada una de ellas.

#### 4.2. PROGRAMAS UTILIZADOS

Para llevar a cabo la definición y análisis de cada una de las alternativas, se han empleado los siguientes programas informáticos:

- 1) AutoCAD: se trata de un software de diseño asistido por ordenador utilizado para la realización de dibujo 2D y 3D desarrollado actualmente por la empresa Autodesk. AutoCAD es un software reconocido a nivel internacional por sus capacidades de edición, haciendo posible el dibujo digital de planos o la recreación de imágenes 3D.

Se ha empleado para llevar a cabo un dibujo inicial de cada una de las estructuras planteadas, además de haberlo utilizado, en el caso de la alternativa 1 y alternativa 3, para importar un dibujo de AutoCAD a SAP2000 y que las coordenadas de la pasarela fuesen más exactas.

- 2) SAP2000: es un programa de cálculo de estructuras especializado para diseño, llevando a cabo el método de los elementos finitos dentro de una interfaz gráfica 3D, preparado para llevar a cabo la modelación, análisis y dimensionamiento de una gran cantidad de estructuras bajo distintas normativas. Pueden llevarse a cabo análisis lineales, análisis dinámicos, implementar cargas móviles, generar elementos barra, área y sólido, dimensionamiento de estructuras de acero, hormigón o aluminio e introducción de cables de pretensado o barras corrugadas de acero, entre otras funciones.
- 3) Excel: es un programa informático a través del que se han generado las distintas coordenadas en los ejes "x", "y" y "z" para introducirlas posteriormente en el sistema de grillas de SAP200. También se ha empleado para llevar a cabo todos los cálculos de las pasarelas, tanto las cargas que se introducen posteriormente en SAP2000



como las comprobaciones realizadas a partir de los esfuerzos obtenidos del programa.

## 5. HIPÓTESIS DE CARGA

En el apartado **BASES DE CÁLCULO** de este documento se explica todo lo relativo a las combinaciones de acciones, coeficientes parciales de seguridad y los factores de simultaneidad tanto en estado límite último (ELU) como en estado límite de servicio (ELS), además de las diferentes consideraciones a tener en cuenta en su realización.

Se exponen a continuación las diferentes combinaciones que se llevan a cabo para cada una de las alternativas planteadas:

### COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELU

- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,35 * \text{Sobrecarga de uso (SU)} + 1,5 * 0,3 * \text{Viento vertical (VV)}$
- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,35 * \text{Sobrecarga de uso (SU)} + 1,5 * 0,3 * \text{Viento horizontal (VH)}$
- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,35 * \text{Sobrecarga de uso (SU)} + 1,5 * 0,3 * \text{Viento longitudinal (VL)}$
- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,5 * \text{Viento vertical (VV)}$

- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,5 * \text{Viento horizontal (VH)}$
- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,5 * \text{Viento longitudinal (VL)}$
- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,35 * \text{Sobrecarga de uso (SU)} + 1,5 * 0,6 * \text{Temperatura}$
- $1,35 * \text{Peso propio (PP)} + 1,35 * \text{Carga muerta (CM)} + 1,5 * \text{Temperatura}$

En este documento y como se menciona al principio del apartado de bases de cálculo, se realizan las comprobaciones relativas al Estado Límite Último (ELU), pero no se llevan a cabo las de Estado Límite de Servicio (ELS) ya que de las diferentes alternativas planteadas se quiere verificar que cada una de ellas cumple estructuralmente a lo largo de su vida útil sin que se produzca el colapso de ninguna.

Sí que se realiza una comprobación para cada una de las alternativas acerca del estado límite de deformaciones. Según el apartado 7.1.1 de la IAP-11 (2012) se debe verificar que la flecha máxima correspondiente al valor frecuente de la sobrecarga de uso no supera el valor de  $L/1200$  en el caso de pasarelas, siendo L la luz del vano de la pasarela.

Para ello se lleva a cabo la siguiente combinación:

- $\text{Peso propio (PP)} + \text{Carga muerta (CM)} + 0,4 * \text{Sobrecarga de uso (SU)}$



Siendo el valor de 0,4 el factor de simultaneidad  $\psi_2$  de la sobrecarga de uso (Tabla 6.1-a de la IAP-11, 2012).

## 6. COMPROBACIONES RESISTENTES

### ▪ ESTRUCTURAS DE ACERO

Se van a llevar a cabo a continuación las comprobaciones resistentes de las secciones de los elementos que forman cada una de las alternativas planteadas en acero tanto, para estado límite último (ELU) como para estado límite de deformaciones.

Los materiales a emplear y sus características se describen en el apartado **MATERIALES EMPLEADOS** de este documento.

En base a las características geométricas de los elementos que forman las diferentes alternativas en acero se clasifican cada una de las secciones transversales en cuatro clases distintas:

- Clase 1: las secciones definidas como clase 1 son capaces de alcanzar el momento plástico y tienen capacidad de rotación, es decir, su fallo (abolladura) se produce después de haber alcanzado un comportamiento como rótula.
- Clase 2: estas secciones son capaces de alcanzar el momento plástico, pero tienen una capacidad de giro limitada ya que el fallo estructural se produce antes de poder comportarse como una rótula.
- Clase 3: superan el momento elástico, pero no alcanzan el momento resistente plástico, por lo que son incapaces de rotar.
- Clase 4: no alcanzan siquiera el momento resistente elástico.

De esta forma, las secciones clase 1 y 2 son las únicas que son capaces de alcanzar el momento plástico, por lo que el dimensionamiento de las secciones se realiza en régimen plástico. En este documento se intenta, para todas las secciones consideradas, que estas sean de clase 1 o 2 para que el cálculo y comprobaciones posterior sea similar en todos los casos.

Una vez se obtiene la clase de sección para cada elemento, se llevan a cabo todas las comprobaciones pertinentes de Estado Límite Último (ELU) para cada alternativa planteada, midiéndose al final el coeficiente de aprovechamiento de cada elemento de las estructuras.

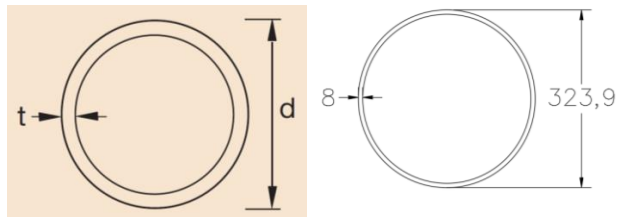
### 6.1. ALTERNATIVA 1

Se realiza la comprobación estructural de las secciones de los elementos que forman la estructura: arco, vigas longitudinales, vigas longitudinales y transversales de piso, diagonales, vigas de arriostamiento y vigas de apoyo. Se comprueban estas secciones frente a axil, momento, cortante y la combinación de estos tres, además de la comprobación frente a pandeo de aquellos elementos sometidos a axil de compresión.

#### 6.1.1. COMPROBACIONES ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU)

##### ▪ COMPROBACIONES DEL ARCO

La sección del arco considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la Instrucción de Acero Estructural (EAE (2011), 2011).

Sabiendo que  $f_y=355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para secciones tubulares se obtiene que la sección del arco es clase 2 ya que:

$$50 * \varepsilon^2 < \frac{d}{t} = \frac{323,9}{8} = 40,49 \leq 70 * \varepsilon^2$$

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7940 * 355}{1,05} = 2684,284 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$500 \text{ kN} < 2684,284 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 30 \text{ kN} * m$$



$$M_{z,Ed} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de los ejes principales es la misma por ser una sección circular (resiste lo mismo en cualquier dirección) y se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$M_{c,y,Rd} = M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{839289,68 \cdot 355}{1,05} = 283,76 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

siendo  $W_{pl,y} = W_{pl,z} = 4 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot t$  el módulo resistente plástico y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). El valor del módulo resistente plástico es el mismo para los dos ejes por ser una sección circular, por lo que el momento resistente es el mismo independientemente del eje considerado.

Por lo tanto:

$$30 \text{ kN} \cdot \text{m} < 283,76 \text{ kN} \cdot \text{m} \qquad 15 \text{ kN} \cdot \text{m} < 283,76 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 40 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 2) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{5054,4 \cdot \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 986,62 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos circulares según el artículo 34.5 de la EAE (2011) (2011):

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 7939,433}{\pi} = 5054,4 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal.

Por lo tanto:

$$40 \text{ kN} < 986,62 \text{ kN}, \text{ la sección cumple frente a cortante.}$$

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del





esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 40 \text{ kN y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 986,62 = 493,1 \text{ kN}$$

$$40 \text{ kN} < 493,1 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones huecas circulares se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 283,76 * (1 - 0,186^{1,7})$$

$$= 267,46 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 283,76 * (1 - 0,186^{1,7})$$

$$= 267,46 \text{ kN} * \text{m}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{500}{2684,284} = 0,186$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

siendo  $\alpha$  y  $\beta$  unas constantes que de forma conservadora se toman iguales a la unidad.

dando como resultado que  $0,168 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo en el arco al verse sometido a un esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed} = 500 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,98 * 7940 * 355}{1,10} = 2511 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.



Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axial de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,55 + \sqrt{0,55^2 - 0,293^2}} = 0,98$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,21 * (0,293 - 0,2) + 0,293^2] = 0,55 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).

Curva de pandeo	$a_0$	a	b	c	d
Coeficiente de imperfección $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Tabla 35.1.2.a. Valores del coeficiente de imperfección. (Fuente: EAE, 2011).

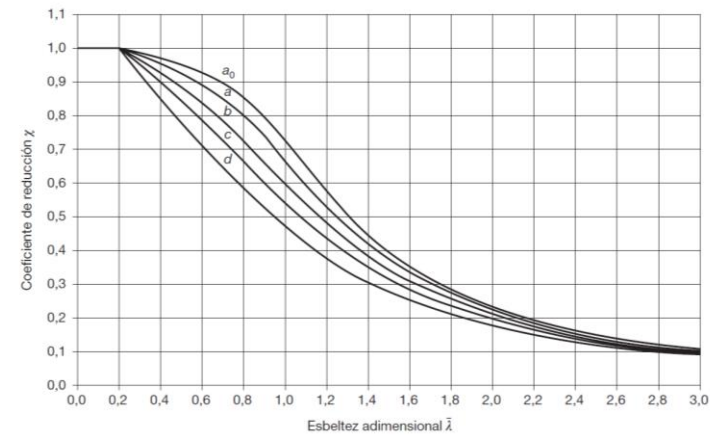


Figura 35.1.2. Curvas de pandeo (Fuente: EAE, 2011)

Secciones de perfiles huecos		Acabados en caliente	Cualquiera	a
		Conformados en frío	Cualquiera	c

Tabla 35.1.2.b. Elección de las curvas de pandeo (Fuente: EAE, 2011).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{7939,43 * 355}{32863681,24}} = 0,293$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axial crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 99.100.806}{2500^2} = 32863681,24 \text{ N}$$

siendo:



$$E = 210.000 \frac{N}{mm^2}$$

$I = 99.100.806 \text{ mm}^4$  (inercia a flexión de la sección).

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 2,5 * 1 = 2,5 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado (distancia aproximada en el arco entre diagonales) y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 500 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 2511 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones huecas circulares.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{500}{0,98 * 2918,7} + 0,629 * \frac{30 + 0}{1 * \frac{297,95}{1,10}} + 0,649 * \frac{15 + 0}{\frac{297,95}{1,10}} = 0,24$$

siendo:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axial de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales para tener en cuenta el desplazamiento del eje del área reducida con respecto al eje del área bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

Clase	1	2	3	4
A	A	A	A	$A_{ef}$
$W_y$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{el,y}$
$W_z$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{el,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} \cdot N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} \cdot N_{Ed}$

*Tabla 35.3.a. Valores de las diferentes expresiones de comprobación frente a pandeo. (Fuente: EAE, 2011).*

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 7940 = 2818700 \text{ N} = 2818,7 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección circular.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 839289,68 = 297,95 \text{ kN} * m$$

$\chi_y, \chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es circular.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,62}{1 - \frac{500}{32863,68}} = 0,629$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{500}{32863,68}} = 0,649$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal en todo el elemento:

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{30} \right) = 0,62$$

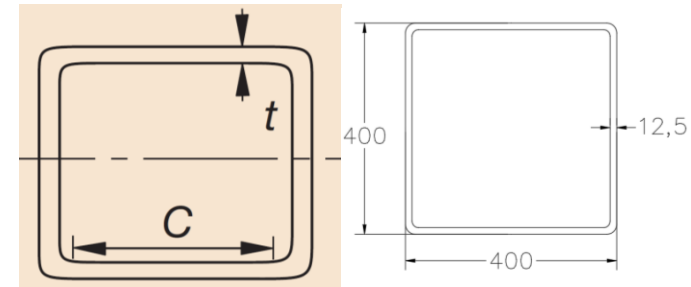
$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{15} \right) = 0,64$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axil crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección circular.

Por lo tanto:  $0,28 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

## ■ COMPROBACIONES DE LA VIGA LONGITUDINAL

La sección de la viga longitudinal considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para esta sección cuadrada hueca se obtiene que es clase 2 ya que:

$$33 * \varepsilon < \frac{c}{t} = \frac{375}{12,5} = 30 \leq 38 * \varepsilon$$

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$



siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 220 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$N_{Pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19200 * 355}{1,05} = 6491,43 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $mm^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$220 \text{ kN} < 6491,43 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 70 \text{ kN} * m$$

$$M_{z,Ed} = 20 \text{ kN} * m$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 2:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 * 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} * m$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 * 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} * m$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico es el mismo para cada uno de los ejes considerados al tener el perfil las mismas dimensiones de altura que de anchura, por lo que el momento resistente plástico es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$70 \text{ kN} * m < 940,58 \text{ kN} * m$$

$$20 \text{ kN} * m < 940,58 \text{ kN} * m$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:



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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 100 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 2) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{9600 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 1873,91 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos rectangulares de espesor constante según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = \frac{A * h}{(b + h)} = \frac{19200 * 0,4}{(0,4 + 0,4)} = 9600 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente.

Por lo tanto:

$100 \text{ kN} < 1873,91 \text{ kN}$ , la sección cumple frente a cortante.

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011) (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 100 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 1873,91 = 936,96 \text{ kN}$$

$$70 \text{ kN} < 936,96 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles huecos rectangulares con espesor constante se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_w} = 940,58 * \frac{1 - 0,034}{1 - 0,5 * 0,484} = 1198,68 \text{ kN} * m$$





$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_f} = 940,58 * \frac{1 - 0,034}{1 - 0,5 * 0,484} = 1198,68 \text{ kN} * \text{m}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{220}{6491,93} = 0,034$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19200} = 0,479$$

$$a_f = \frac{A - 2 * h * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19200} = 0,479$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente y  $t$  es el espesor de la sección.

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$  y  $M_{N,z,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,z,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:

$$M_{N,y,Rd} = 940,58 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = 940,58 \text{ kN} * \text{m}$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

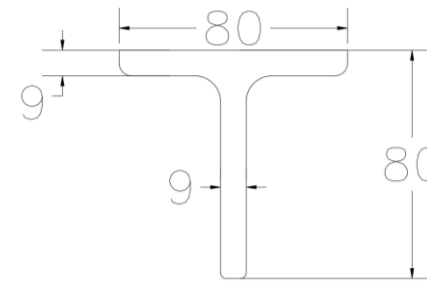
$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\text{siendo } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 * n^2} = 1,662$$

dando como resultado que  $0,015 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LA VIGA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE PISO

La sección de la viga longitudinal y transversal del piso considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección. Según lo establecido en el prontuario de perfiles de acero del que se ha extraído la sección, el perfil T80 es clase 1.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:



$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 50 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{856 * 355}{1,05} = 289,41 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $mm^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$50 \text{ kN} < 289,41 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 5 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ kN} * \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23049 * 355}{1,05} = 7,79 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15460 * 355}{1,05} = 5,23 \text{ kN} * \text{m}$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico no es el mismo para cada uno de los ejes considerados, por lo que el momento resistente plástico no es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$5 \text{ kN} * \text{m} < 7,79 \text{ kN} * \text{m}$$

$$1 \text{ kN} * \text{m} < 5,23 \text{ kN} * \text{m}$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:



$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 10 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{257,5 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 50,26 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles laminados en T con carga paralela al alma según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = A - b * t_f + (t_w + 2 * r) * \frac{t_f}{2} = 856 - 80 * 9 + (9 + 2 * 9) * \frac{9}{2} = 257,5 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal, y  $b$  es el ancho de la sección,  $t_w$  y  $t_f$  son los espesores del alma y alas respectivamente y  $r$  es el radio de acuerdo.

Por lo tanto:

$10 \text{ kN} < 50,26 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a cortante.**

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 10 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 50,26 = 25,13 \text{ kN}$$

$$10 \text{ kN} < 25,13 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles laminados con alas iguales se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * \alpha} = 7,79 * \frac{1 - 0,173}{1 - 0,5 * 0,50} = 8,595 \text{ kN} * \text{m}$$

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:

$$M_{N,y,Rd} = 7,79 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 5,23 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (para } n \leq a)$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{50}{289,41} = 0,173$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{856 - 2 \cdot 80 \cdot 9}{856} = 0,50$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $t_f$  son el ancho de la sección y el espesor de las alas respectivamente.

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

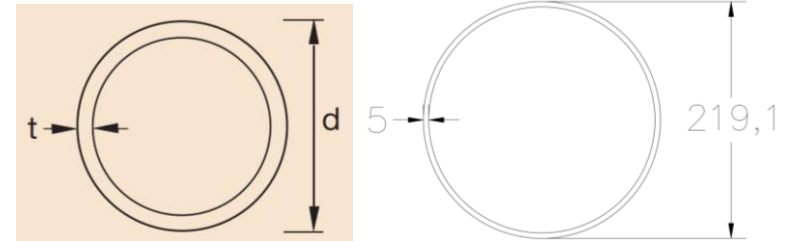
$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

Siendo las constantes  $\alpha = 2$  y  $\beta = 1$

dando como resultado que  $0,53 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LAS DIAGONALES

La sección considerada para las diagonales es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para secciones tubulares se obtiene que la sección de las diagonales es clase 2 ya que:

$$50 \cdot \varepsilon^2 < \frac{d}{t} = \frac{219,1}{5} = 43,82 \leq 70 \cdot \varepsilon^2$$

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$



siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 220 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3360 * 355}{1,05} = 1137,040 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$140 \text{ kN} < 1137,040 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 20 \text{ kN} * m$$

$$M_{z,Ed} = 10 \text{ kN} * m$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de los ejes principales es la misma por ser una sección circular (resiste lo mismo en cualquier dirección) y se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$M_{c,y,Rd} = M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{240024,05 * 355}{1,05} = 81,15 \text{ kN} * m$$

siendo  $W_{pl,y} = W_{pl,z} = 4 * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * t$  el módulo resistente plástico y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la tabla 15.3 de la EAE (2011). El valor del módulo resistente plástico es el mismo para los dos ejes por ser una sección circular, por lo que el momento resistente es el mismo independientemente del eje considerado.

Por lo tanto:

$$20 \text{ kN} * m < 81,15 \text{ kN} * m$$

$$10 \text{ kN} * m < 81,15 \text{ kN} * m$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:



$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 20 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 2) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{2141 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 417,92 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos circulares según el artículo 34.5 de la EAE (2011) (2011):

$$A_v = \frac{2 * A}{\pi} = \frac{2 * 3360}{\pi} = 2141 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal.

Por lo tanto:

$20 \text{ kN} < 417,92 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a cortante.**

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 20 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 417,92 = 208,96 \text{ kN}$$

$$20 \text{ kN} < 208,96 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones huecas circulares se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 81,15 * (1 - 0,193^{1,7})$$

$$= 76,178 \text{ kN} * m$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 81,15 * (1 - 0,193^{1,7})$$

$$= 76,178 \text{ kN} * m$$

siendo:





$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{220}{1137,040} = 0,193$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

siendo  $\alpha$  y  $\beta$  unas constantes que de forma conservadora se toman iguales a la unidad.

dando como resultado que  $0,394 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ▪ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se verifica el efecto de inestabilidad por pandeo en las diagonales ya que se ven sometidas a un esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed} = 220 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,9 * 3360 * 355}{1,10} = 975,93 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.

Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axil de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,7 + \sqrt{0,7^2 - 0,57^2}} = 0,9$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,21 * (0,57 - 0,2) + 0,57^2] = 0,7 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{3360 * 355}{3669426,47}} = 0,57$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axil crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 19.280.000}{3300^2} = 3669426,47 \text{ N}$$

siendo:



$$E = 210.000 \frac{N}{mm^2}$$

$I = 19.280.000 \text{ mm}^4$  (inercia a flexión de la sección).

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 3,3 * 1 = 3,3 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado entre el arco y la viga longitudinal sometido a una mayor compresión y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 220 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 975,93 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones huecas circulares.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{220}{0,9 * 1192,8} + 0,66 * \frac{20 + 0}{1 * \frac{81,3}{1,10}} + 0,68 * \frac{10 + 0}{\frac{81,3}{1,10}} = 0,49$$

siendo:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axial de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 3360 = 1192800 \text{ N} = 1192,8 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección circular.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 229000 = 81,3 \text{ kN} * \text{m}$$

$\chi_y, \chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es circular.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,62}{1 - \frac{220}{3669,43}} = 0,66$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{220}{3669,43}} = 0,68$$

siendo:



$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{20} \right) = 0,62$$

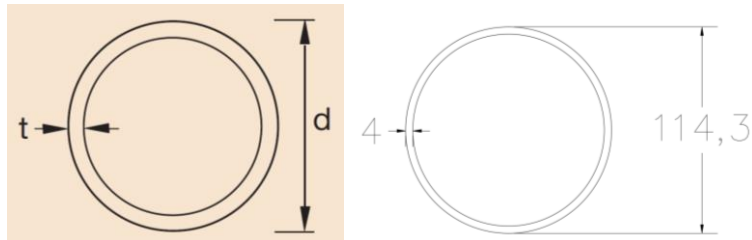
$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{10} \right) = 0,64$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axial crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección circular.

Por lo tanto:  $0,49 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LAS VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO

La sección considerada para las vigas de arriostramiento es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y=355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para secciones tubulares se obtiene que la sección de las vigas de arriostramiento es clase 1 ya que:

$$\frac{d}{t} = \frac{114,3}{4} = 28,575 \leq 50 * \varepsilon^2$$

El valor de cálculo del esfuerzo axial  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axial.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axial.

El valor de cálculo del esfuerzo axial se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 50 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axial se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:



$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1390 * 355}{1,05} = 469,95 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$50 \text{ kN} < 468,624 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 2 \text{ kN} * m$$

$$M_{z,Ed} = 0,5 \text{ kN} * m$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de los ejes principales es la misma por ser una sección circular (resiste lo mismo en cualquier dirección) y se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78700 * 355}{1,05} = 26,61 \text{ kN} * m$$

siendo  $W_{pl,y} = W_{pl,z}$  los módulos resistentes plásticos de la sección cuyos valores se obtienen del prontuario y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). El valor del módulo resistente plástico es el mismo para los dos ejes por ser una sección circular, por lo que el momento resistente es el mismo independientemente del eje considerado.

Por lo tanto:

$$2 \text{ kN} * m < 26,61 \text{ kN} * m$$

$$0,5 \text{ kN} * m < 26,61 \text{ kN} * m$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 10 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:



$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{884,9 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 172,73 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos circulares según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = \frac{2 * A}{\pi} = \frac{2 * 1390}{\pi} = 884,9 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal.

Por lo tanto:

$10 \text{ kN} < 172,24 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a cortante.**

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 10 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 172,24 = 86,12 \text{ kN}$$

$$10 \text{ kN} < 86,12 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones huecas circulares se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 26,61 * (1 - 0,106^{1,7}) = 26,01 \text{ kN} * m$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 26,61 * (1 - 0,106^{1,7}) = 26,01 \text{ kN} * m$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{50}{469,95} = 0,106$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}}\right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}\right]^\beta \leq 1$$

siendo  $\alpha$  y  $\beta$  unas constantes que de forma conservadora se toman iguales a la unidad.

dando como resultado que  $0,096 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**



### ▪ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo en la viga de arriostramiento al verse sometida a un esfuerzo axial de compresión  $N_{Ed} = 50 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,14 * 1390 * 355}{1,10} = 62,80 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.

Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axial de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{3,92 + \sqrt{3,92^2 - 2,52^2}} = 0,14$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,21 * (2,52 - 0,2) + 2,52^2] = 3,92 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1390 * 355}{77746,16}} = 2,52$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axial crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 2.110.000}{7500^2} = 77746,16 \text{ N}$$

siendo:

$$E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$I = 2.110.000 \text{ mm}^4$  (inercia a flexión de la sección).

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 7,5 * 1 = 7,5 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 50 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 62,80 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo por compresión.**



▪ **COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)**

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones huecas circulares.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{50}{0,14 * 493,45} + 1,7 * \frac{2 + 0}{1 * \frac{27,94}{1,10}} + 1,79 * \frac{0,5 + 0}{\frac{27,94}{1,10}} = 0,97$$

siendo:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axial de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 1390 = 493450 \text{ N} = 493,45 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección circular.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 78700 = 27,94 \text{ kN} * m$$

$\chi_y, \chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es circular.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,61}{1 - \frac{50}{77,75}} = 1,7$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{50}{77,75}} = 1,79$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,max}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{0,05}{2} \right) = 0,61$$

$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,max}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{0,05}{0,5} \right) = 0,64$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axial crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección circular.

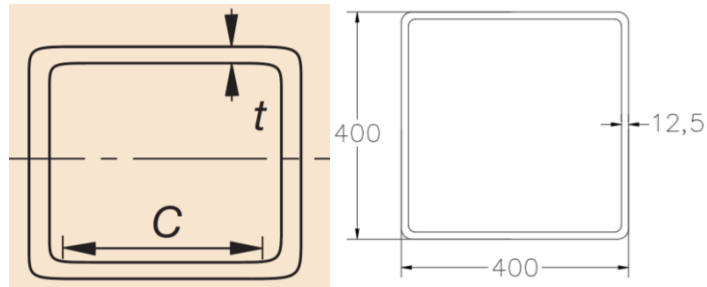




Por lo tanto:  $0,97 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LA VIGA DE APOYO

La sección de la viga de apoyo considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y=355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para esta sección cuadrada hueca se obtiene que es clase 2 ya que:

$$33 * \varepsilon < \frac{c}{t} = \frac{375}{12,5} = 30 \leq 38 * \varepsilon$$

Se considera panel comprimido al ser más desfavorable para el acero.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 300 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19200 * 355}{1,05} = 6491,43 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $\text{mm}^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la Tabla 15.3 de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$300 \text{ kN} < 6491,43 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**



El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 2:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 \cdot 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 \cdot 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico no es el mismo para cada uno de los ejes considerados, por lo que el momento resistente plástico no es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$50 \text{ kN} \cdot \text{m} < 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$15 \text{ kN} \cdot \text{m} < 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 80 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 2) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{9600 \cdot \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 1873,91 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos rectangulares de espesor constante según el artículo 34.5 de la EAE (2011):



$$A_v = \frac{A * h}{(b + h)} = \frac{19200 * 0,4}{(0,4 + 0,4)} = 9600 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente.

Por lo tanto:

$80 \text{ kN} < 1873,91 \text{ kN}$ , la sección cumple frente a cortante.

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 80 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 1873,91 = 936,96 \text{ kN}$$

$$80 \text{ kN} < 936,96 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en

los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles huecos rectangulares con espesor constante se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_w} = 940,58 * \frac{1 - 0,046}{1 - 0,5 * 0,484} = 1183,8 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_f} = 940,58 * \frac{1 - 0,046}{1 - 0,5 * 0,484} = 1183,8 \text{ kN} * \text{m}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{170}{6491,43} = 0,046$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19375} = 0,479$$

$$a_f = \frac{A - 2 * h * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19375} = 0,479$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente y  $t$  es el espesor de la sección.

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$  y  $M_{N,z,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,z,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:



$$M_{N,y,Rd} = 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\text{siendo } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13 \cdot n^2} = 1,664$$

dando como resultado que  $0,0086 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ▪ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo en la viga de apoyo al verse sometido a un esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed} = 300 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,99 \cdot 19200 \cdot 355}{1,10} = 6134,4 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.

Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axil de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,49 + \sqrt{0,49^2 - 0,099^2}} = 0,99$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,099 - 0,2) + 0,099^2] = 0,49 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{19200 \cdot 355}{688555007,2}} = 0,099$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axil crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:



$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 478.390.000}{1200^2} = 688555007,2 \text{ N}$$

siendo:

$$E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$I = 478.390.000 \text{ mm}^4 \text{ (inercia a flexión de la sección).}$$

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 1,2 * 1 = 1,2 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 300 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 6134,4 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones huecas circulares.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{300}{0,99 * 6816} + 0,61 * \frac{50 + 0}{1 * \frac{987,61}{1,10}} + 0,62 * \frac{15 + 0}{\frac{987,61}{1,10}} = 0,093$$

siendo:

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axial de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 19200 = 6816000 \text{ N} = 6816 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección circular.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 2782000 = 987,61 \text{ kN} * \text{m}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es circular.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,608}{1 - \frac{300}{688555}} = 0,61$$



$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,623}{1 - \frac{300}{688555}} = 0,62$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,mín}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{50} \right) = 0,608$$

$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,mín}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{15} \right) = 0,623$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axial crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección circular.

Por lo tanto:  $0,093 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

### 6.1.2. COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO

Como resultado de las comprobaciones realizadas por el programa SAP2000 y a partir de la envolvente de esfuerzos se obtiene el coeficiente de aprovechamiento de cada uno de los elementos estructurales que componen la alternativa 1, que se obtienen por medio de la siguiente fórmula:

Este coeficiente, para que la estructura esté correctamente diseñada, debe estar por debajo de 1 en todos los casos.

La estructura se ha diseñado para que su coeficiente de aprovechamiento sea bajo y poder asegurar así el correcto comportamiento de la estructura frente a todas las solicitaciones.

Se muestra en la figura inferior todas las barras comprobadas y su coeficiente de aprovechamiento marcado con colores. En el caso de que las barras estuviesen marcadas en color rojo supondría el no cumplimiento de alguna de las comprobaciones resistentes. Como se puede observar, se da el color azul para todos los elementos de la estructura excepto en dos vigas de arriostamiento que se da el color amarillo, con lo que el coeficiente de aprovechamiento de cada una de las barras está por debajo de la unidad según la barra de colores mostrada en el lateral de la figura.

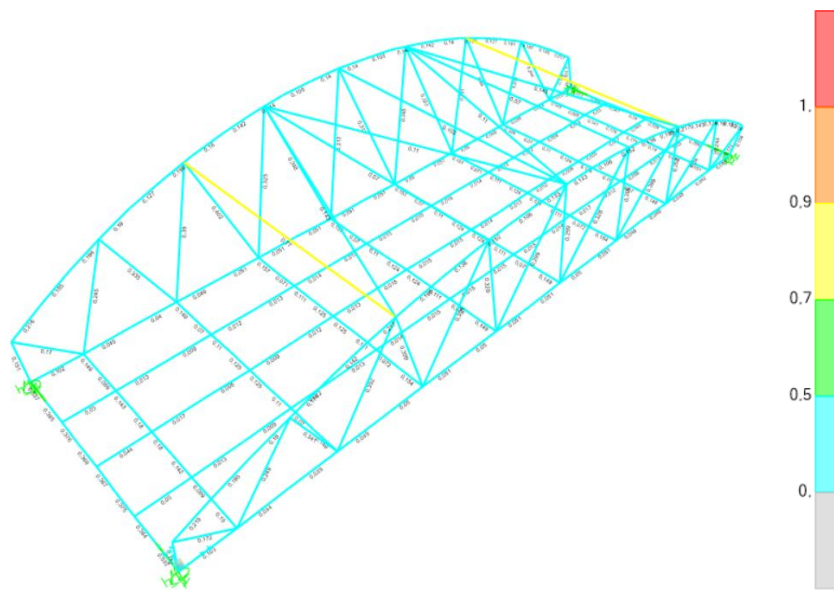


Figura 10. Coeficientes de aprovechamiento del material para cada elemento de la alternativa 1. (Fuente: SAP2000).

### 6.1.3. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO

Una vez se han llevado a cabo todas las comprobaciones estructurales de cada uno de los elementos que conforman la alternativa 1, se procede a predimensionar los aparatos de apoyo y obtener posteriormente la rigidez necesaria que se debe introducir en cada uno de ellos.

El tablero de una pasarela transmite las cargas a los estribos o pilas (en este caso) mediante la interposición de unos elementos denominados aparatos

de apoyo. Estos no solamente deben ser capaces de absorber las fuerzas horizontales y verticales transmitidas por el tablero, sino que también deben permitir o impedir ciertos movimientos.

Se van a utilizar aparatos de apoyo de neopreno zunchado. Se escogen los de tipo B de catálogo comercial. Esta tipología es la más habitual y posee forma rectangular o redonda (rectangular para este caso). Están compuestos por un bloque de elastómero y placas de acero intercaladas entre sí con una alta adherencia entre ambos componentes. En relación con los movimientos horizontales, estos apoyos, gracias a su deformabilidad en el plano xy, permiten los movimientos horizontales entre el tablero y la subestructura. Con respecto a los giros, los apoyos de neopreno zunchado permiten gracias también a su deformabilidad, giros relativos entre el tablero y la subestructura contenidos en el plano xy sin apenas ejercer coacción a los mismos.

La forma del aparato de apoyo es según se muestra a continuación:

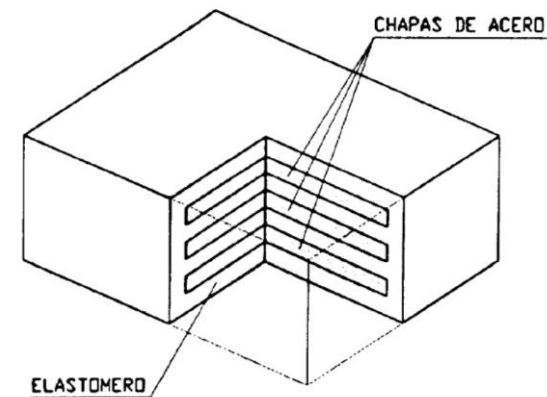


Figura 11. Aparato de apoyo de neopreno zunchado. (Fuente: Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera, 1995).



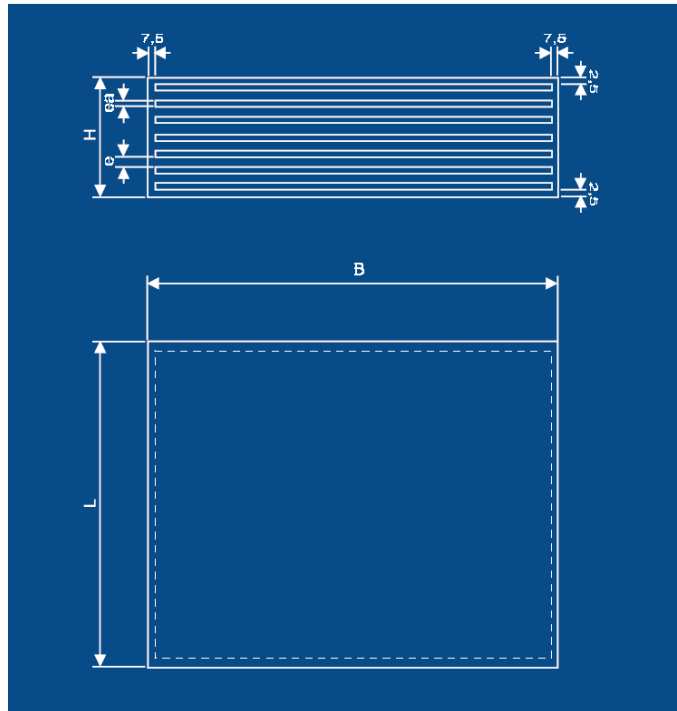


Figura 12. Geometría del aparato de apoyo. (Fuente: Catálogo comercial, 2013).

Mediante el programa SAP2000 se obtiene cual es la reacción vertical máxima en los apoyos, siendo esta de aproximadamente de 40 t. A partir de esta carga máxima y acudiendo al catálogo, se escoge un rango de aparatos de apoyo cuya carga máxima es de 62 t.

Para una primera aproximación, la carrera en una pasarela es de 1 mm por cada metro de pasarela. En este caso el tablero tiene 20 m de longitud

aproximadamente, por lo que son 20 mm de carrera máxima en la pasarela, con 10 mm por cada extremo de esta.

Con este dato, se escoge del catálogo un aparato de apoyo que asuma una carrera de 14,7 mm para estar del lado de la seguridad, obteniendo por lo tanto que el espesor neto de goma  $E$  es de 21 mm y que el aparato de apoyo tiene las siguientes dimensiones: 200x250x40 mm, colocándose el lado más largo en perpendicular al eje del tablero.

Se calcula a continuación la rigidez del aparato de apoyo mediante la siguiente fórmula según el anejo "Reparto de acciones horizontales" de la Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera:

$$k = \frac{G * L * B}{E} = \frac{1000 * 0,200 * 0,250}{0,021} = 2380,95 \text{ kN/m}$$

siendo:

$k$ : rigidez del aparato de apoyo.

$L$  y  $B$ : dimensiones en planta en m del aparato de apoyo.

$E$ : altura neta de goma en m.

$G$ : módulo de elasticidad lateral del elastómero, estando este valor entre 8 y 12 kp/cm<sup>2</sup>. Se escoge  $G = 10$  kp/cm<sup>2</sup>.

A partir de la rigidez obtenida de los aparatos de apoyo, se introducen en el modelo y en cada uno de los aparatos de apoyo, carritos verticales, mientras que en horizontal se introducen muelles en las direcciones "x" e "y" cuya rigidez es la calculada ( $k = 2380,95 \text{ kN/m}$ ) como se muestra en las siguientes gráficas obtenidas del programa SAP2000:



Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
14	No	No	Yes	No	No	No
15	No	No	Yes	No	No	No
194	No	No	Yes	No	No	No
195	No	No	Yes	No	No	No

Tabla 24. Asignación de restricciones alternativa 1. (Fuente: SAP2000).

Joint	CoordSys	U1	U2	U3	R1	R2	R3
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m/rad	kN/m/rad
14	GLOBAL	2380,95	2380,95	0	0	0	0
15	GLOBAL	2380,95	2380,95	0	0	0	0
194	GLOBAL	2380,95	2380,95	0	0	0	0
195	GLOBAL	2380,95	2380,95	0	0	0	0

Tabla 25. Asignación de muelles alternativa 1. (Fuente: SAP2000).

#### 6.1.4. CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS

En este apartado se va a comprobar, en base al apartado 7.1 de la IAP-11, el estado límite de deformaciones, verificándose que la flecha máxima correspondiente al valor frecuente de la sobrecarga de uso no supera el valor de  $L/1200$  en el caso de pasarelas, siendo  $L$  la luz del vano.

La combinación que se ha seguido para llevar a cabo esta comprobación es la siguiente:

- $Peso\ propio\ (PP) + Carga\ muerta\ (CM) + 0,4 * Sobrecarga\ de\ uso\ (SU)$

Siendo el valor de 0,4 el factor de simultaneidad  $\psi_1$  de la sobrecarga de uso (Tabla 6.1-a de la IAP-11 (2012)).

Para la alternativa considerada, se obtiene que  $L/1200 = 20/1200 = 0,017\ m = 17\ mm$ , mientras que el valor de la deformación obtenida a través del programa SAP2000 es de 3,5 mm, por lo que se cumple este estado límite de deformaciones.

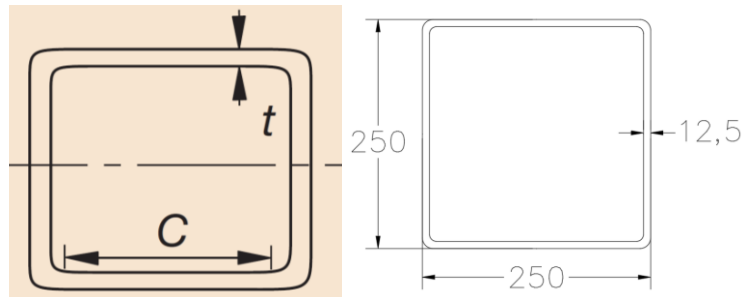
## 6.2. ALTERNATIVA 2

Se realiza la comprobación estructural de las secciones de los elementos que forman la alternativa 2: cordón superior, vigas longitudinales, vigas longitudinales y transversales del piso, diagonales y vigas de arriostamiento. Se comprueban el axil, el momento, el cortante y la combinación de estos tres, además de la comprobación frente a pandeo de aquellos elementos sometidos a axil de compresión.

### 6.2.1. COMPROBACIONES ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU)

#### ▪ COMPROBACIONES DEL CORDÓN SUPERIOR

La sección del cordón superior considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y=355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para esta sección cuadrada hueca se obtiene que es clase 1 ya que:

$$\frac{c}{t} = \frac{225}{12,5} = 18 \leq 33 * \varepsilon$$

Se considera panel comprimido al ser más desfavorable para el acero.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 2200 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11700 * 355}{1,05} = 3955,71 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $\text{mm}^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la Tabla 15.3 de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$2200 \text{ kN} < 3955,71 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.



El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1037000 \cdot 355}{1,05} = 350,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1037000 \cdot 355}{1,05} = 350,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico es el mismo para cada uno de los ejes considerados ya que las dimensiones de altura y anchura de la sección son idénticas, por lo que el momento resistente plástico es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$50 \text{ kN} \cdot \text{m} < 350,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$15 \text{ kN} \cdot \text{m} < 350,6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 30 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{5850 \cdot \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 1141,92 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos rectangulares de espesor constante según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = \frac{A \cdot h}{(b + h)} = \frac{11700 \cdot 0,25}{(0,25 + 0,25)} = 5850 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente.

Por lo tanto:

$$30 \text{ kN} < 1141,92 \text{ kN}, \text{ la sección cumple frente a cortante.}$$



Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 30 \text{ kN y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 1141,92 = 570,96 \text{ kN}$$

$$30 \text{ kN} < 570,96 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles huecos rectangulares con espesor constante se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_w} = 350,60 * \frac{1 - 0,56}{1 - 0,5 * 0,466} = 201,13 \text{ kN} * m$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_f} = 350,60 * \frac{1 - 0,56}{1 - 0,5 * 0,466} = 201,13 \text{ kN} * m$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{2200}{3955,71} = 0,56$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t}{A} = \frac{11700 - 2 * 250 * 12,5}{11700} = 0,466$$

$$a_f = \frac{A - 2 * h * t}{A} = \frac{11700 - 2 * 250 * 12,5}{11700} = 0,466$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente y  $t$  es el espesor de la sección.

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\text{siendo } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 * n^2} = 2,4$$

dando como resultado que  $0,030 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**



### ▪ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo en el cordón superior. El axil de compresión al que se encuentra sometido es  $N_{Ed} = 2200 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,93 * 11700 * 355}{1,10} = 3511,60 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.

Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axil de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,66 + \sqrt{0,66^2 - 0,51^2}} = 0,93$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,21 * (0,51 - 0,2) + 0,51^2] = 0,66 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11700 * 355}{15666630,01}} = 0,51$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axil crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 109.150.000}{3800^2} = 15666630,01 \text{ N}$$

siendo:

$$E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$I = 109.150.000 \text{ mm}^4$  (inercia a flexión de la sección).

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 3,8 * 1 = 3,8 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado (distancia en el cordón superior entre diagonales) y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 2200 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 3511,70 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**



▪ **COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)**

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones huecas.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{2200}{0,93 * 4153,5} + 0,76 * \frac{50 + 0}{1 * \frac{368,14}{1,10}} + 0,75 * \frac{15 + 0}{\frac{368,14}{1,10}} = 0,77$$

siendo:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axil de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 11700 = 4153500 \text{ N} = 4153,5 \text{ kN.}$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la Tabla 35.3.a de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección cuadrada.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 1037000 = 368,14 \text{ kN} * m$$

$\chi_y, \chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es cuadrada.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{2200}{15666,63}} = 0,76$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,63}{1 - \frac{2200}{15666,63}} = 0,75$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,mín}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{5}{50} \right) = 0,64$$

$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,mín}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{15} \right) = 0,63$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axil crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección cuadrada.

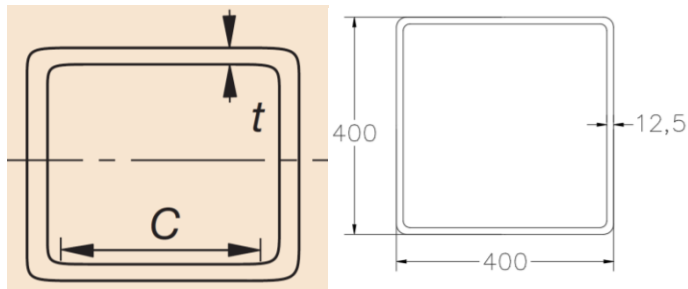




Por lo tanto:  $0,77 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

#### ▪ COMPROBACIONES DE LA VIGA LONGITUDINAL

La sección de la viga longitudinal considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para esta sección cuadrada hueca se obtiene que es clase 2 ya que:

$$33 * \varepsilon < \frac{c}{t} = \frac{0,375}{0,0125} = 30 \leq 38 * \varepsilon$$

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 1000 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$N_{Pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19200 * 355}{1,05} = 6491,43 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $\text{mm}^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0} = 1,05$  según la Tabla 15.3 de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$1000 \text{ kN} < 6491,43 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**



El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 90 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 20 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 2:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 \cdot 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 \cdot 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la tabla 15.3 de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico es el mismo para cada uno de los ejes considerados al ser iguales las dimensiones de altura y anchura de la sección considerada, por lo que el momento resistente plástico es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$90 \text{ kN} \cdot \text{m} < 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$20 \text{ kN} \cdot \text{m} < 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 100 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 2) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{9600 \cdot \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 1873,91 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos rectangulares de espesor constante según el artículo 34.5 de la EAE (2011):



$$A_v = \frac{A * h}{(b + h)} = \frac{19200 * 0,4}{(0,4 + 0,4)} = 9600 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente.

Por lo tanto:

$100 \text{ kN} < 1891 \text{ kN}$ , la sección cumple frente a cortante.

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 100 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 1873,91 = 936,96 \text{ kN}$$

$$100 \text{ kN} < 936,96 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en

los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles huecos rectangulares con espesor constante se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_w} = 940,58 * \frac{1 - 0,150}{1 - 0,5 * 0,479} = 1079,56 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_f} = 940,58 * \frac{1 - 0,150}{1 - 0,5 * 0,479} = 1079,56 \text{ kN} * \text{m}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1000}{6491,43} = 0,150$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19200} = 0,479$$

$$a_f = \frac{A - 2 * h * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19200} = 0,479$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente y  $t$  es el espesor de la sección.

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$  y  $M_{N,z,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,z,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:

$$M_{N,y,Rd} = 940,58 \text{ kN} * \text{m}$$



$$M_{N,z,Rd} = 940,58 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

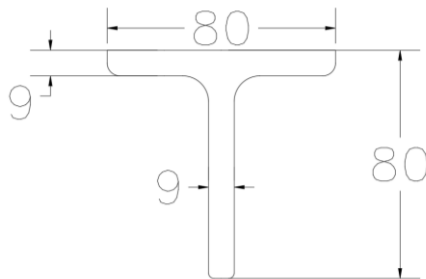
$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

siendo  $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13 \cdot n^2} = 1,7$

dando como resultado que  $0,02 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ▪ COMPROBACIONES DE LA VIGA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE PISO

La sección de la viga longitudinal y transversal del piso considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección. Según lo establecido en el prontuario de perfiles de acero del que se ha extraído la sección, el perfil T80 es clase 1.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 30 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{856 \cdot 355}{1,05} = 289,41 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $\text{mm}^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$30 \text{ kN} < 289,41 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:



$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

La sección cumple frente a momento flector.

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23049 \cdot 355}{1,05} = 7,79 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15460 \cdot 355}{1,05} = 5,23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico no es el mismo para cada uno de los ejes considerados, por lo que el momento resistente plástico no es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$5 \text{ kN} \cdot \text{m} < 7,79 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$1 \text{ kN} \cdot \text{m} < 5,23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 5 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{257,5 \cdot \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 50,26 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles laminados en T con carga paralela al alma según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = A - b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot \frac{t_f}{2} = 856 - 80 \cdot 9 + (9 + 2 \cdot 9) \cdot \frac{9}{2} = 257,5 \text{ mm}^2$$



donde  $A$  es el área de la sección transversal, y  $b$  es el ancho de la sección,  $t_w$  y  $t_f$  son los espesores del alma y alas respectivamente y  $r$  es el radio de acuerdo.

Por lo tanto:

$5 \text{ kN} < 50,26 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a cortante.**

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 5 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 50,26 = 25,13 \text{ kN}$$

$$5 \text{ kN} < 25,13 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para

secciones transversales de perfiles laminados con alas iguales se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a} = 7,79 * \frac{1 - 0,069}{1 - 0,5 * 0,50} = 9,672 \text{ kN} * \text{m}$$

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:

$$M_{N,y,Rd} = 7,79 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 5,23 \text{ kN} * \text{m} \text{ (para } n \leq a)$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{30}{289,41} = 0,104$$

$$a = \frac{A - 2 * b * t_f}{A} = \frac{856 - 2 * 80 * 9}{856} = 0,50$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $t_f$  son el ancho de la sección y el espesor de las alas respectivamente.

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

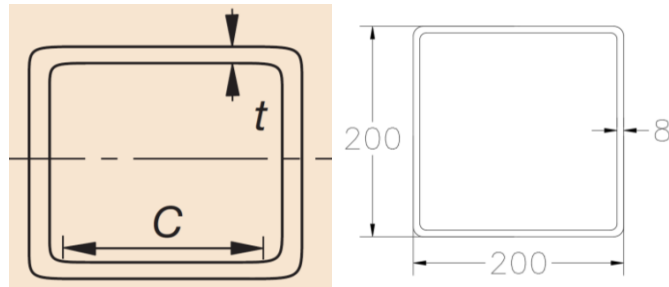


Siendo las constantes  $\alpha = 2$  y  $\beta = 1$

dando como resultado que  $0,480 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ▪ COMPROBACIONES DE LAS DIAGONALES

La sección de las diagonales considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para esta sección cuadrada hueca se obtiene que es clase 1 ya que:

$$\frac{c}{t} = \frac{375}{12,5} = 30 \leq 33 * \varepsilon$$

Se considera panel comprimido al ser más desfavorable para el acero.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 950 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6080 * 355}{1,05} = 2055,62 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $\text{mm}^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0} = 1,05$  según la Tabla 15.3 de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$950 \text{ kN} < 2055,62 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**





El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 50 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{436000 \cdot 355}{1,05} = 147,41 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{436000 \cdot 355}{1,05} = 147,41 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la tabla 15.3 de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico es el mismo para cada uno de los ejes considerados ya que las dimensiones de altura y anchura de la sección son las mismas, por lo que el momento resistente plástico es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$50 \text{ kN} \cdot \text{m} < 147,41 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$15 \text{ kN} \cdot \text{m} < 147,41 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 20 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{3040 \cdot \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 593,41 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos rectangulares de espesor constante según el artículo 34.5 de la EAE (2011):



$$A_v = \frac{A * h}{(b + h)} = \frac{6080 * 0,2}{(0,2 + 0,2)} = 3040 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente.

Por lo tanto:

$20 \text{ kN} < 593,41 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a cortante.**

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 20 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 593,41 = 296,71 \text{ kN}$$

$$20 \text{ kN} < 296,71 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en

los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles huecos rectangulares con espesor constante se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_w} = 147,41 * \frac{1 - 0,46}{1 - 0,5 * 0,474} = 113,29 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_f} = 147,41 * \frac{1 - 0,46}{1 - 0,5 * 0,474} = 113,29 \text{ kN} * \text{m}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{950}{2055,62} = 0,46$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t}{A} = \frac{6080 - 2 * 200 * 8}{6080} = 0,474$$

$$a_f = \frac{A - 2 * h * t}{A} = \frac{6080 - 2 * 200 * 8}{6080} = 0,474$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente y  $t$  es el espesor de la sección.

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:



$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

siendo  $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13*n^2} = 2,2$

dando como resultado que  $0,21 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ▪ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo en las diagonales sometidas a una compresión  $N_{Ed} = 950 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,84 * 6080 * 355}{1,10} = 1648,23 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.

Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axil de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,80 + \sqrt{0,80^2 - 0,7^2}} = 0,84$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,21 * (0,7 - 0,2) + 0,7^2] = 0,80 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6080 * 355}{4357900,32}} = 0,7$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axil crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 37.090.000}{4200^2} = 4357900,32 \text{ N}$$

siendo:

$$E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



$I = 37.090.000 \text{ mm}^4$  (inercia a flexión de la sección).

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 4,2 * 1 = 4,2 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 950 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 1648,23 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones huecas.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{950}{0,84 * 2158,4} + 0,80 * \frac{50 + 0}{1 * \frac{154,78}{1,10}} + 0,78 * \frac{15 + 0}{\frac{154,78}{1,10}} = 0,88$$

siendo:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axial de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 6080 = 2158400 \text{ N} = 2158,4 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección cuadrada.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 436000 = 154,78 \text{ kN} * \text{m}$$

$\chi_y, \chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es cuadrada.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{850}{4357,9}} = 0,80$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,63}{1 - \frac{850}{4357,9}} = 0,78$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:



$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{5}{50} \right) = 0,64$$

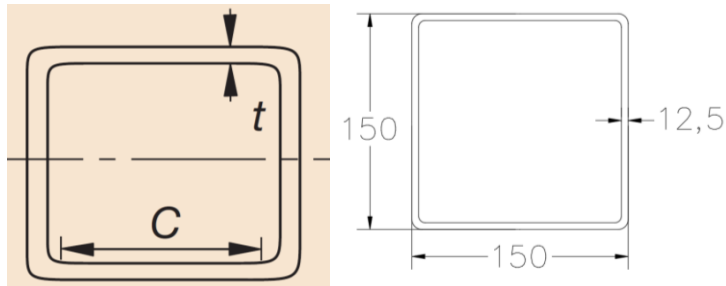
$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{15} \right) = 0,63$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axil crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente (kN). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección cuadrada.

Por lo tanto:  $0,88 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LAS VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO

La sección de las diagonales considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y=355$  N/mm<sup>2</sup>, se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para esta sección cuadrada hueca se obtiene que es clase 1 ya que:

$$\frac{c}{t} = \frac{125}{12,5} = 10,4 \leq 33 * \varepsilon$$

Se considera panel comprimido al ser más desfavorable para el acero.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 300 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6710 * 355}{1,05} = 2268,62 \text{ kN}$$



siendo  $A$  el área en  $mm^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$300 \text{ kN} < 2268,62 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 70 \text{ kN} * m$$

$$M_{z,Ed} = 15 \text{ kN} * m$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{342000 * 355}{1,05} = 115,63 \text{ kN} * m$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{342000 * 355}{1,05} = 115,63 \text{ kN} * m$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico es el mismo para cada uno de los ejes considerados ya que las dimensiones de altura y anchura de la sección son las mismas, por lo que el momento resistente plástico es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$70 \text{ kN} * m < 115,63 \text{ kN} * m$$

$$15 \text{ kN} * m < 115,63 \text{ kN} * m$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 20 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 2) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:



$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{3355 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 654,89 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos rectangulares de espesor constante según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = \frac{A * h}{(b + h)} = \frac{6710 * 0,15}{(0,15 + 0,15)} = 3355 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente.

Por lo tanto:

$20 \text{ kN} < 654,89 \text{ kN}$ , la sección cumple frente a cortante.

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 20 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 535,82 = 267,91 \text{ kN}$$

$$20 \text{ kN} < 267,91 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles huecos rectangulares con espesor constante se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_w} = 115,63 * \frac{1 - 0,132}{1 - 0,5 * 0,441} = 128,8 \text{ kN} * m$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a_f} = 115,63 * \frac{1 - 0,132}{1 - 0,5 * 0,441} = 128,8 \text{ kN} * m$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{300}{2268,62} = 0,132$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t}{A} = \frac{6710 - 2 * 150 * 12,5}{6710} = 0,441$$

$$a_f = \frac{A - 2 * h * t}{A} = \frac{6710 - 2 * 150 * 12,5}{6710} = 0,441$$





donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente y  $t$  es el espesor de la sección.

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$  y  $M_{N,z,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,z,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:

$$M_{N,y,Rd} = 115,63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = 115,63 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\text{siendo } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13 \cdot n^2} = 1,7$$

dando como resultado que  $0,459 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo las vigas de arriostramiento que se encuentran sometidas a un esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed} = 300 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,33 \cdot 6710 \cdot 355}{1,10} = 714,62 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.

Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axil de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,94 + \sqrt{1,94^2 - 1,61^2}} = 0,33$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,61 - 0,2) + 1,61^2] = 1,94 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).



$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{6710 * 355}{879804,74}} = 1,61$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axil crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 20.800.000}{7000^2} = 879804,74 \text{ N}$$

siendo:

$$E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$I = 20.800.000 \text{ mm}^4$  (inercia a flexión de la sección).

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 7 * 1 = 7 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 300 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 714,62 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones huecas.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{300}{0,33 * 2382,05} + 0,85 * \frac{70 + 0}{1 * \frac{121,41}{1,10}} + 0,88 * \frac{5 + 0}{\frac{121,41}{1,10}} = 0,98$$

siendo:

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axil de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 6710 = 2382050 \text{ N} = 2382,05 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección cuadrada.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 342000 = 121,41 \text{ kN} * \text{m}$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es cuadrada.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .



$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,62}{1 - \frac{300}{879,8}} = 0,85$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{300}{879,8}} = 0,88$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{5}{70} \right) = 0,62$$

$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{0,5}{5} \right) = 0,64$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axial crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección cuadrada.

Por lo tanto:  $0,98 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

## 6.2.2. COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO

Como resultado de las comprobaciones realizadas por el programa SAP2000 y a partir de la envolvente de esfuerzos se obtiene el coeficiente de aprovechamiento de cada uno de los elementos estructurales que compone la alternativa 2, que se obtienen por medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}$$

Este coeficiente, para que la estructura esté correctamente diseñada, debe estar por debajo de 1 en todos los casos.

Se muestra en la figura siguiente todas las barras comprobadas y su coeficiente de aprovechamiento marcado con colores. En el caso de que las barras estuviesen marcadas en color rojo supondría el no cumplimiento de alguna de las comprobaciones resistentes. Como se puede observar, se dan diferentes colores en cada uno de los elementos de la estructura. Las barras cuyo coeficiente es mayor son las diagonales extremas y las vigas de arriostamiento, pero nunca se supera el valor de la unidad del coeficiente de aprovechamiento, como indica la gráfica de colores mostrada en la figura.

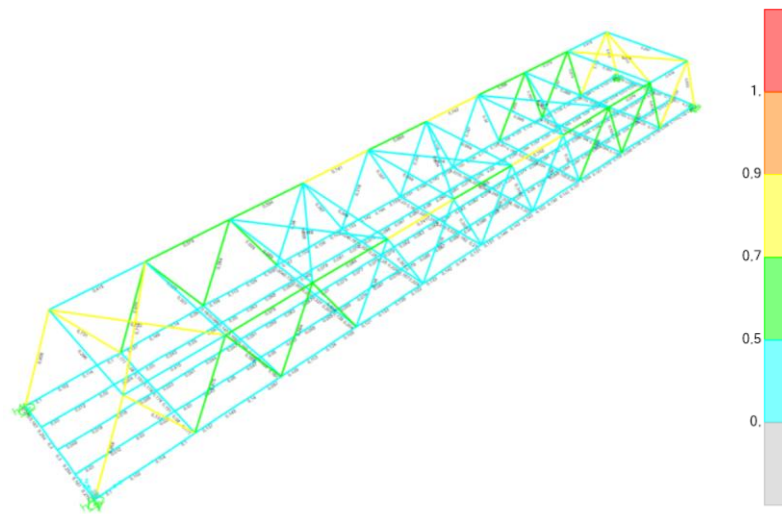


Figura 13. Coeficientes de aprovechamiento del material para cada elemento de la alternativa 2. (Fuente: SAP2000).

### 6.2.3. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO

Una vez se han llevado a cabo todas las comprobaciones estructurales de cada uno de los elementos que conforman la estructura, se procede a predimensionar los aparatos de apoyo y obtener posteriormente la rigidez necesaria que se debe introducir en cada uno de ellos.

Se escogen los mismos aparatos de apoyo que los ya expuestos en el apartado **PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO** de la alternativa 1 de este documento.

Mediante el programa SAP2000 se obtiene cual es la reacción vertical máxima en los apoyos, siendo esta de aproximadamente 90 t. A partir de esta carga máxima y acudiendo al catálogo, se escoge un rango de aparatos de apoyo cuya carga máxima es de 100 t.

Para una primera aproximación, la carrera en una pasarela es de 1 mm por cada metro de pasarela. En este caso, el tablero tiene 40 m de longitud, por lo que son 40 mm de carrera máxima en la pasarela, con 20 mm por cada extremo de esta.

Con este dato, se escoge del catálogo un aparato de apoyo que asuma una carrera de 25,9 mm para estar del lado de la seguridad, obteniendo por lo tanto que el espesor neto de goma E es de 37 mm y que el aparato de apoyo tiene las siguientes dimensiones: 200x400x52 mm, colocándose el lado más largo en perpendicular al eje del tablero.

Se calcula a continuación la rigidez del aparato de apoyo mediante la siguiente fórmula ya mencionada para la alternativa 1:

$$k = \frac{G * L * B}{E} = \frac{1000 * 0,200 * 0,400}{0,037} = 2162,16 \text{ kN/m}$$

siendo:

$k$ : rigidez del aparato de apoyo.

$L$  y  $B$ : dimensiones en planta en m del aparato de apoyo.

$E$ : altura neta de goma en m.

$G$ : módulo de deformación lateral del elastómero, estando este valor entre 8 y 12 kp/cm<sup>2</sup>. Se escoge  $G= 10$  kp/cm<sup>2</sup>.

A partir de la rigidez obtenida de los aparatos de apoyo, se introducen en el modelo y en cada uno de los aparatos de apoyo, carritos verticales,



mientras que en horizontal se introducen muelles en las direcciones “x” e “y” cuya rigidez es la calculada ( $k = 2162,16 \text{ kN/m}$ ) como se muestra en la siguiente tabla extraída de SAP2000:

Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
64	No	No	Yes	No	No	No
84	No	No	Yes	No	No	No
95	No	No	Yes	No	No	No
105	No	No	Yes	No	No	No

Tabla 26. Asignación de restricciones alternativa 2. (Fuente: SAP2000).

Joint	CoordSys	U1	U2	U3	R1	R2	R3
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m/rad	kN/m/rad
64	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0
84	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0
95	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0
105	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0

Tabla 27. Asignación de muelles alternativa 2. (Fuente: SAP2000).

#### 6.2.4. CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS

Se comprueba a continuación, en base a lo explicado en el apartado **CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS** de la alternativa 1, el estado límite de deformaciones para la verificación de la flecha máxima.

Para la alternativa considerada, se obtiene que  $L/1200 = 40/1200 = 0,033 \text{ m} = 33,3 \text{ mm}$ , mientras que el valor de la deformación obtenida a través del

programa SAP2000 es de  $45 \text{ mm}$ , por lo que no se cumple este estado límite de deformaciones.

Para solucionar este problema y en caso de que la alternativa 2 saliese como la mejor de las cuatro planteadas, se realizaría una contraflecha vertical de ejecución según el apartado 7.1.2. de la IAP-11. Este establece que “en aquellos casos en los que se produzcan deformaciones que puedan afectar a la apariencia o funcionalidad de la estructura, se deben definir unas contraflechas de ejecución de manera que la geometría de la estructura se ajuste al máximo a la rasante teórica de proyecto”.

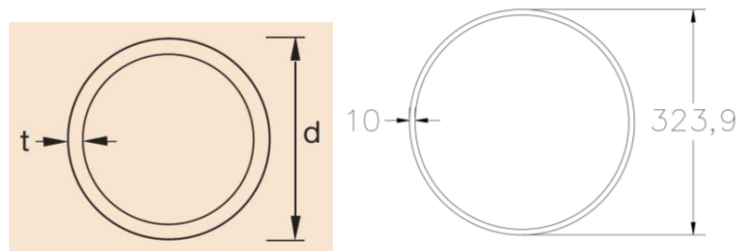
### 6.3. ALTERNATIVA 4

Se realiza la comprobación estructural de las secciones de los elementos que forman la estructura: arco, vigas longitudinales, vigas longitudinales y transversales de piso T80, vigas transversales IPEAA100, vigas de arriostamiento y péndolas. Se comprueban el axil, el momento, el cortante y la combinación de estos tres, además de la comprobación frente a pandeo de aquellos elementos sometidos a axil de compresión.

#### 6.3.1. COMPROBACIONES ESTADO LÍMITE ÚLTIMO

##### ▪ COMPROBACIONES DEL ARCO

La sección del arco considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y=355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para secciones tubulares se obtiene que la sección del arco es clase 1 ya que:

$$\frac{d}{t} = \frac{323,9}{10} = 32,39 \leq 50 * \varepsilon^2$$

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 1800 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9860 * 355}{1,05} = 3333,62 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$1800 \text{ kN} < 3333,62 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 60 \text{ kN} * m$$



$$M_{z,Ed} = 5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de los ejes principales es la misma por ser una sección circular (resiste lo mismo en cualquier dirección) y se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1049112,1 \cdot 355}{1,05} = 354,70 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

siendo  $W_{pl,y} = W_{pl,z} = 4 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot t$  el módulo resistente plástico y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). El valor del módulo resistente plástico es el mismo para los dos ejes por ser una sección circular, por lo que el momento resistente es el mismo independientemente del eje considerado.

Por lo tanto:

$$60 \text{ kN} \cdot \text{m} < 354,70 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad 5 \text{ kN} \cdot \text{m} < 354,70 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 60 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{6277,1 \cdot \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 1225,28 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos circulares según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = \frac{2 \cdot A}{\pi} = \frac{2 \cdot 9860}{\pi} = 6277,1 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal.

Por lo tanto:

$$60 \text{ kN} < 1225,46 \text{ kN}, \text{ la sección cumple frente a cortante.}$$

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del





esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 60 \text{ kN y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 1225,28 = 612,64 \text{ kN}$$

$$60 \text{ kN} < 612,64 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones huecas circulares se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 354,70 * (1 - 0,54^{1,7}) \\ = 230,29 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 354,70 * (1 - 0,54^{1,7}) \\ = 230,29 \text{ kN} * \text{m}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{1800}{3333,62} = 0,54$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

siendo  $\alpha$  y  $\beta$  unas constantes que de forma conservadora se toman iguales a la unidad.

dando como resultado que  $0,28 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo en el arco, al verse sometido a un esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed} = 1800 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,98 * 9860 * 355}{1,10} = 3118,45 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.



Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axial de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,55 + \sqrt{0,55^2 - 0,295^2}} = 0,98$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,21 * (0,295 - 0,2) + 0,295^2] = 0,55 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (Figura 35.1.2.). Se considera, a partir de la Tabla 35.1.2.b. de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (Tabla 35.1.2.a.).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{9860 * 355}{40318202,5}} = 0,295$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axial crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 121.600.000}{2500^2} = 40318202,5 \text{ N}$$

siendo:

$$E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$I = 121.600.000 \text{ mm}^4 \text{ (inercia a flexión de la sección).}$$

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 2,5 * 1 = 2,5 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado (distancia aproximada entre cables) y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 1800 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 3118,45 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**

### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones circulares huecas.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{1800}{0,98 * 3500,3} + 0,66 * \frac{60 + 0}{1 * \frac{372,43}{1,10}} + 0,67 * \frac{5 + 0}{\frac{372,43}{1,10}} = 0,67$$

siendo:

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axial de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.



$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 9860 = 3500300 \text{ N} = 3500,3 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la Tabla 35.3.a de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección circular.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 1049112,1 = 372,43 \text{ kN} * m$$

$\chi_y, \chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es circular.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,63}{1 - \frac{1800}{40318,2}} = 0,66$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{1800}{40318,2}} = 0,67$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:

$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{5}{60} \right) = 0,63$$

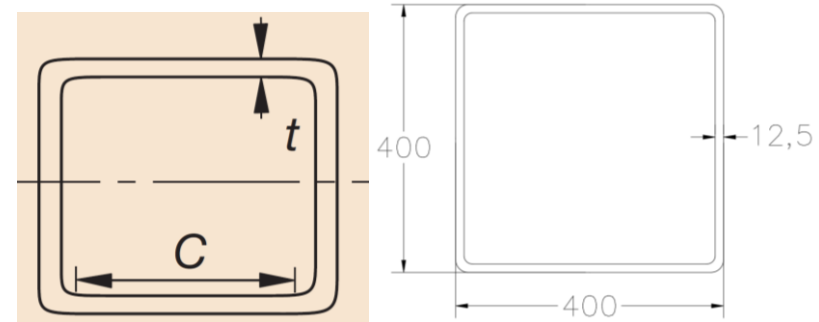
$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{0,5}{5} \right) = 0,64$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axil crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección circular.

Por lo tanto:  $0,67 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LA VIGA LONGITUDINAL

La sección de la viga longitudinal considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:





En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y=355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para esta sección cuadrada hueca se obtiene que es clase 2 ya que:

$$33 * \varepsilon < \frac{c}{t} = \frac{375}{12,5} = 30 \leq 38 * \varepsilon$$

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 900 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 2:

$$N_{PL,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19200 * 355}{1,05} = 6491,43 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $\text{mm}^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$900 \text{ kN} < 6550,60 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 200 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 15 \text{ kN} * \text{m}$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 2:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 * 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} * \text{m}$$



$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2782000 * 355}{1,05} = 940,58 \text{ kN} * m$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico es el mismo para cada uno de los ejes considerados al tener el perfil las mismas dimensiones de altura que de anchura, por lo que el momento resistente plástico es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$200 \text{ kN} * m < 940,58 \text{ kN} * m \quad 15 \text{ kN} * m < 940,58 \text{ kN} * m$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 60 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 2) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{9600 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 1873,91 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos rectangulares de espesor constante según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = \frac{A * h}{(b + h)} = \frac{19200 * 0,4}{(0,4 + 0,4)} = 9600 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente.

Por lo tanto:

$$60 \text{ kN} < 1873,91 \text{ kN}, \text{ la sección cumple frente a cortante.}$$

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.



En este caso:

$$V_{Ed} = 60 \text{ kN y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 1873,91 = 936,96 \text{ kN}$$

$$60 \text{ kN} < 936,96 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que, en presencia de esfuerzo axil, debe llevarse a cabo una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles huecos rectangulares con espesor constante se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5 * a_w} = 940,58 * \frac{1-0,14}{1-0,5 * 0,479} = 1063,64 \text{ kN} * m$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} * \frac{1-n}{1-0,5 * a_f} = 940,58 * \frac{1-0,14}{1-0,5 * 0,479} = 1063,64 \text{ kN} * m$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{900}{6491,43} = 0,14$$

$$a_w = \frac{A - 2 * b * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19200} = 0,479$$

$$a_f = \frac{A - 2 * h * t}{A} = \frac{19200 - 2 * 400 * 12,5}{19200} = 0,479$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $h$  son el alto y ancho de la sección respectivamente y  $t$  es el espesor de la sección.

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$  y  $M_{N,z,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,z,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:

$$M_{N,y,Rd} = 940,58 \text{ kN} * m$$

$$M_{N,z,Rd} = 940,58 \text{ kN} * m$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

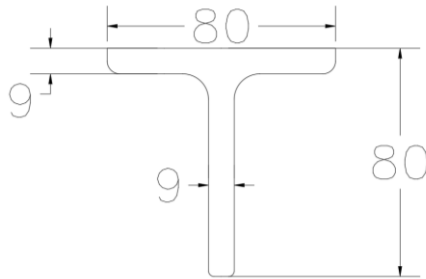
$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

$$\text{siendo } \alpha = \beta = \frac{1,66}{1-1,13 * n^2} = 1,697$$

dando como resultado que  $0,073 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LA VIGA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL DE PISO

La sección de la viga longitudinal y transversal del piso considerada es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección. Según lo establecido en el prontuario de perfiles de acero del que se ha extraído la sección, el perfil T80 es clase 1.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{t,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 40 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{856 * 355}{1,05} = 289,41 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $mm^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$40 \text{ kN} < 289,41 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 2 \text{ kN} * m$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ kN} * m$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23049 * 355}{1,05} = 7,79 \text{ kN} * m$$





$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15460 * 355}{1,05} = 5,23 \text{ kN} * m$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico no es el mismo para cada uno de los ejes considerados, por lo que el momento resistente plástico no es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$2 \text{ kN} * m < 7,79 \text{ kN} * m$$

$$1 \text{ kN} * m < 5,23 \text{ kN} * m$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 2 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{257,5 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 50,26 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles laminados en T con carga paralela al alma según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = A - b * t_f + (t_w + 2 * r) * \frac{t_f}{2} = 856 - 80 * 9 + (9 + 2 * 9) * \frac{9}{2} = 257,5 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal, y  $b$  es el ancho de la sección,  $t_w$  y  $t_f$  son los espesores del alma y alas respectivamente y  $r$  es el radio de acuerdo.

Por lo tanto:

$$2 \text{ kN} < 50,26 \text{ kN}, \text{ la sección cumple frente a cortante.}$$

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que



el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 2 \text{ kN y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 50,26 = 25,13 \text{ kN}$$

$$2 \text{ kN} < 25,13 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones transversales de perfiles laminados con alas iguales se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a} = 7,79 * \frac{1 - 0,138}{1 - 0,5 * 0,50} = 8,95 \text{ kN} * \text{m}$$

$M_{N,y,Rd}$  debe ser menor o igual que  $M_{c,y,Rd}$ , por lo que, al no cumplirse esta condición en este caso:

$$M_{N,y,Rd} = 7,79 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 5,23 \text{ kN} * \text{m} \text{ (para } n \leq a \text{)}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{40}{289,41} = 0,138$$

$$a = \frac{A - 2 * b * t_f}{A} = \frac{856 - 2 * 80 * 9}{856} = 0,50$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $t_f$  son el ancho de la sección y el espesor de las alas respectivamente.

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

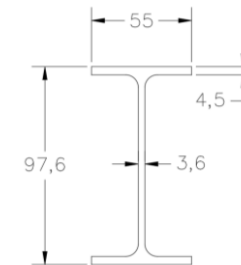
$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

Siendo las constantes  $\alpha = 2$  y  $\beta = 1$

dando como resultado que  $0,241 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LAS VIGAS TRANSVERSALES IPEAA100

La sección de las vigas transversales situadas en los extremos del piso es la siguiente, estando las cotas en mm:





En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección. Según lo establecido en el prontuario de perfiles de acero del que se ha extraído la sección, el perfil IPEAA100 es clase 1.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 50 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{856 * 355}{1,05} = 289,41 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área en  $mm^2$  de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$50 \text{ kN} < 289,41 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 5 \text{ kN} * m$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ kN} * m$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de cada uno de los ejes principales se obtiene por medio de las siguientes expresiones para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{31900 * 355}{1,05} = 10,79 \text{ kN} * m$$

$$M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7200 * 355}{1,05} = 2,43 \text{ kN} * m$$

Habiendo obtenido el valor de los módulos resistentes plásticos ( $W_{pl,y}$  y  $W_{pl,z}$ ) del prontuario y siendo  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). En este caso el valor del módulo resistente plástico no es el mismo para cada uno de los ejes considerados, por lo que el momento resistente plástico no es el mismo en cualquier dirección.

Por lo tanto:

$$5 \text{ kN} * m < 10,79 \text{ kN} * m$$

$$1 \text{ kN} * m < 2,43 \text{ kN} * m$$



**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:

$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 5 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{440,2 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 85,93 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles laminados en I con carga paralela al alma según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f \\ &= 856 - 55 * 4,5 + (3,6 + 2 * 7) * 4,5 = 440,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal, y  $b$  es el ancho de la sección,  $t_w$  y  $t_f$  son los espesores del alma y alas respectivamente y  $r$  es el radio de acuerdo.

Por lo tanto:

$5 \text{ kN} < 85,93 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a cortante.**

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 5 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 85,93 = 42,97 \text{ kN}$$

$$5 \text{ kN} < 42,97 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para

secciones transversales de perfiles laminados con alas iguales se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,y,Rd} * \frac{1 - n}{1 - 0,5 * a} = 10,79 * \frac{1 - 0,138}{1 - 0,5 * 0,422} = 11,78 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,z,Rd} = 2,43 \text{ kN} * \text{m} \text{ (para } n \leq a \text{)}$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{50}{289,41} = 0,173$$

$$a = \frac{A - 2 * b * t_f}{A} = \frac{856 - 2 * 55 * 4,5}{856} = 0,422$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal y  $b$  y  $t_f$  son el ancho de la sección y el espesor de las alas respectivamente.

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:

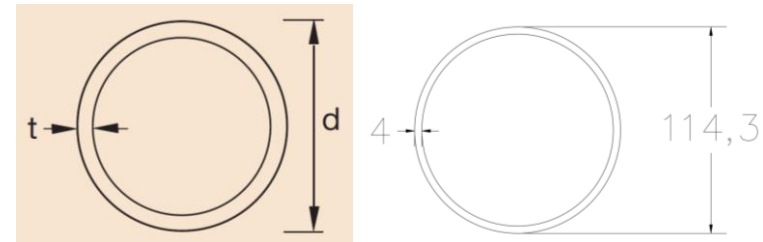
$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

Siendo las constantes  $\alpha = 2$  y  $\beta = 1$

dando como resultado que  $0,61 \leq 1$ , **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ■ COMPROBACIONES DE LAS VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO

La sección considerada para las vigas de arriostramiento es la siguiente, estando las cotas en mm:



En primer lugar, se determina cual es la clase de dicha sección según lo expuesto en el artículo 20.3 de la EAE (2011).

Sabiendo que  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ , se obtiene el valor de  $\varepsilon$ , siendo este:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,81$$

Por lo tanto, para secciones tubulares se obtiene que la sección de las vigas de arriostramiento es clase 1 ya que:

$$\frac{d}{t} = \frac{114,3}{4} = 28,58 \leq 50 * \varepsilon^2$$

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$



siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 20 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1390 * 355}{1,05} = 469,95 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

$20 \text{ kN} < 469,95 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

El valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.4 de la EAE (2011) que:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

siendo:

$M_{Ed}$ : valor de cálculo del momento flector.

$M_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a flexión.

El valor de cálculo del momento flector se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$M_{y,Ed} = 10 \text{ kN} * m$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ kN} * m$$

La resistencia de cálculo a flexión de la sección transversal alrededor de los ejes principales es la misma por ser una sección circular (resiste lo mismo en cualquier dirección) y se obtiene por medio de la siguiente expresión para clase de sección 1:

$$M_{c,y,Rd} = M_{c,z,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78700 * 355}{1,05} = 26,61 \text{ kN} * m$$

siendo  $W_{pl,y} = W_{pl,z}$  los valores de los módulos resistentes plásticos obtenidos del prontuario y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011). El valor del módulo resistente plástico es el mismo para los dos ejes por ser una sección circular, por lo que el momento resistente es el mismo independientemente del eje considerado.

Por lo tanto:

$$10 \text{ kN} * m < 26,61 \text{ kN} * m$$

$$1 \text{ kN} * m < 26,61 \text{ kN} * m$$

**La sección cumple frente a momento flector.**

El valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.5 de la EAE (2011) que:

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

siendo:



$V_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo cortante.

$V_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a cortante.

El valor de cálculo del esfuerzo cortante se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$V_{Ed} = 10 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a cortante en dimensionamiento plástico (sección clase 1) es la resistencia plástica a cortante  $V_{pl,Rd}$ , que se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{884,9 * \left(\frac{355}{\sqrt{3}}\right)}{1,05} = 172,73 \text{ kN}$$

siendo  $A_v$  el área a cortante que se obtiene a partir de la siguiente expresión para secciones de perfiles huecos circulares según el artículo 34.5 de la EAE (2011):

$$A_v = \frac{2 * A}{\pi} = \frac{2 * 1390}{\pi} = 884,9 \text{ mm}^2$$

donde  $A$  es el área de la sección transversal.

Por lo tanto:

$10 \text{ kN} < 172,73 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a cortante.**

Se lleva a cabo a continuación la comprobación de la sección para la interacción de esfuerzos según el artículo 34.7 de la EAE (2011).

Según lo expuesto en el artículo 34.7.3 de la EAE (2011), en aquellos casos en los que la sección transversal se vea sometida a esfuerzos combinados de axil, cortante y momento, se debe llevar a cabo una comprobación frente a este efecto realizando una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión y axil. Sin embargo, cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  obtenido con el programa SAP2000 sea menor que el 50% de la resistencia plástica de cálculo de la sección  $V_{pl,Rd}$ , no es necesario llevar a cabo esta disminución de resistencia.

En este caso:

$$V_{Ed} = 10 \text{ kN} \text{ y } 50\% \text{ de } V_{pl,Rd} = 0,5 * 172,73 = 86,37 \text{ kN}$$

$$10 \text{ kN} < 86,37 \text{ kN}$$

Por lo que no es necesaria ninguna reducción de resistencia de la sección frente a axil y cortante.

Se comprueba por lo tanto la sección frente al efecto combinado de axil y momento según el artículo 34.7.2 de la EAE (2011) que establece que, en los casos en los que haya esfuerzo axil, es necesario realizar una reducción de la resistencia plástica a flexión a través de un parámetro  $n$ . Para secciones huecas circulares se puede aplicar la siguiente expresión para la obtención de la resistencia plástica a flexión reducida:

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 26,61 * (1 - 0,043^{1,7}) = 26,57 \text{ kN} * m$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{c,Rd} * (1 - n^{1,7}) = 26,61 * (1 - 0,043^{1,7}) = 26,57 \text{ kN} * m$$

siendo:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{20}{469,95} = 0,043$$

Para la comprobación de este efecto se emplea la siguiente formulación:





$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

siendo  $\alpha$  y  $\beta$  unas constantes que de forma conservadora se toman iguales a la unidad.

dando como resultado que  $0,415 \leq 1$  por lo que **la sección cumple frente al esfuerzo combinado de axil, flexión y cortante.**

#### ▪ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN)

Se comprueba a continuación el efecto de inestabilidad por pandeo en las vigas de arriostramiento, al verse sometidas a un esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed} = 20 \text{ kN}$ .

Según el artículo 35.1.1 de la EAE (2011), para elementos sometidos a compresión, el valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión  $N_{Ed}$  debe verificar que:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil de compresión.

$N_{b,Rd}$ : resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

La resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido considerado se calcula de la siguiente manera para secciones de clase 1,2 y 3:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,21 * 1390 * 355}{1,10} = 94,2 \text{ kN}$$

donde  $\chi$  es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado,  $A$  es el área de la sección y  $\gamma_{M1}$  es un coeficiente parcial de seguridad equivalente a 1,10 para el caso de puentes.

Según el artículo 35.1.2 de la EAE (2011), para el caso de elementos con sección transversal constante que se ven sometidos a un esfuerzo axil de compresión, el valor de  $\chi$  se determina de la siguiente manera:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{3 + \sqrt{3^2 - 2,15^2}} = 0,21$$

siendo:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \\ &= 0,5 * [1 + 0,21 * (2,15 - 0,2) + 2,15^2] = 3 \end{aligned}$$

$\alpha$ : coeficiente de imperfección obtenido para cada una de las curvas de pandeo (*Figura 35.1.2.*). Se considera, a partir de la *Tabla 35.1.2.b.* de la EAE (2011) que la curva de pandeo para secciones de perfiles huecos acabados en caliente es la curva a, por lo que  $\alpha = 0,21$  (*Tabla 35.1.2.a.*).

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1390 * 355}{106768,11}} = 2,15$$

$N_{cr}$  es el esfuerzo axil crítico elástico para el modo de pandeo considerado y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 * 210.000 * 2.110.000}{6400^2} = 106768,11 \text{ N}$$

siendo:

$$E = 210.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



$I = 2.110.000 \text{ mm}^4$  (inercia a flexión de la sección).

$L_{cr}$ : longitud de pandeo.  $L_{cr} = L * \beta = 6,4 * 1 = 6,4 \text{ m}$ .  $L$  es la longitud del elemento considerado y  $\beta=1$  para una pieza que se considera biarticulada.

Por lo tanto,  $N_{Ed} = 20 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 94,2 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión.**

#### ■ COMPROBACIÓN DE PANDEO (COMPRESIÓN + FLEXIÓN)

Se realiza a continuación la comprobación a pandeo del mismo elemento, pero considerando en este caso que está sometido a la combinación de compresión y flexión según el artículo 35.3 de la EAE (2011). Se va a llevar a cabo esta comprobación para elementos que no son susceptibles de deformaciones por torsión, como son las secciones circulares huecas.

La comprobación puede llevarse a cabo a través de la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{20}{0,21 * 493,45} + 0,79 * \frac{10 + 0}{1 * \frac{27,94}{1,10}} + 0,76 * \frac{1 + 0}{\frac{27,94}{1,10}} = 0,55$$

siendo:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$ : valores de cálculo del esfuerzo axial de compresión y de los momentos flectores máximos a lo largo del elemento alrededor de los ejes y-y y z-z respectivamente.

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ : momentos adicionales debidos al desplazamiento del eje baricéntrico del área reducida con respecto al eje baricéntrico de la sección transversal bruta. Según la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) estos valores son iguales a cero para secciones de clase 1,2 y 3.

$$N_{Rk} = f_y * A = 355 * 1390 = 493450 \text{ N} = 493,45 \text{ kN}.$$

$M_{Rk}$ : momento obtenido de la *Tabla 35.3.a* de la EAE (2011) anteriormente expuesta. Es el mismo valor en eje y y eje z al ser una sección circular.

$$M_{y,Rk} = M_{z,Rk} = f_y * W_{pl} = 355 * 78700 = 27,94 \text{ kN} * \text{m}$$

$\chi_y, \chi_z$ : coeficientes de reducción para pandeo calculados anteriormente. Ambos valores son iguales ya que la sección a comprobar es circular.

$\chi_{LT}$ : coeficiente de reducción para pandeo lateral. Para elementos no susceptibles a deformaciones por torsión se considera  $\chi_{LT} = 1$ .

$k_{yy}, k_{yz}$ : coeficientes de interacción obtenidos con la siguiente fórmula:

$$k_{yy} = \frac{C_{m,y}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{0,64}{1 - \frac{20}{106,77}} = 0,79$$

$$k_{yz} = \frac{C_{m,z}}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{0,62}{1 - \frac{20}{106,77}} = 0,76$$

siendo:

$C_m$ : coeficiente de momento equivalente uniforme referido al eje de flexión que tiene en cuenta la distribución de momentos flectores. En el caso de distribución lineal a lo largo de todo el elemento:



$$C_{m,y} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{1}{10} \right) = 0,64$$

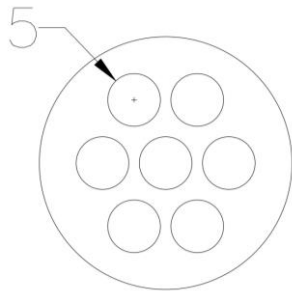
$$C_{m,z} = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{M_{Ed,min}}{M_{Ed,máx}} \right) = 0,6 + 0,4 * \left( \frac{0,05}{1} \right) = 0,62$$

$N_{cr}$ : esfuerzo axil crítico elástico para el pandeo calculado anteriormente ( $kN$ ). Es el mismo para ambos ejes al ser una sección circular.

Por lo tanto:  $0,55 \leq 1$ , **la sección cumple frente a pandeo de compresión y flexión.**

#### ▪ COMPROBACIÓN DE LAS PÉNDOLAS

La sección considerada para las péndolas es la siguiente, estando las cotas en mm:



Estas péndolas son de acero Y-1860 S7, estando formadas cada una de ellas por 7 alambres de 5 mm de diámetro cada uno, con lo que el área de su sección transversal es de 137,44  $m^2$ . Su carga unitaria máxima es de 1860  $N/mm^2$ , mientras que su límite elástico corresponde al 90% de la carga unitaria máxima, es decir: 1674  $N/mm^2$

Se comprueba únicamente para las péndolas su resistencia frente a esfuerzo axil, ya que es el único esfuerzo que solicita a este elemento de forma apreciable.

El valor de cálculo del esfuerzo axil  $N_{Ed}$  debe cumplir según el artículo 34.3 de la EAE (2011) que:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

siendo:

$N_{Ed}$ : valor de cálculo del esfuerzo axil.

$N_{c,Rd}$ : resistencia de cálculo de la sección a axil.

El valor de cálculo del esfuerzo axil se obtiene del programa SAP2000, siendo:

$$N_{Ed} = 110 \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo de la sección a axil se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{137,44 * 355}{1,05} = 219,13 \text{ kN}$$

siendo  $A$  el área de la sección transversal y  $\gamma_{M0}=1,05$  según la *Tabla 15.3* de la EAE (2011).

Por lo tanto:

110  $kN < 219,13 \text{ kN}$ , **la sección cumple frente a axil.**

### 6.3.2. COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO

Como resultado de las comprobaciones realizadas por el programa SAP2000 y a partir de la envolvente de esfuerzos se obtiene el coeficiente de aprovechamiento de cada uno de los elementos estructurales que compone la alternativa 4, que se obtienen por medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}$$

Este coeficiente, para que la estructura esté correctamente diseñada, debe estar por debajo de 1 en todos los casos.

Se muestra en la imagen siguiente todas las barras comprobadas y su coeficiente de aprovechamiento marcado con colores. En el caso de que las barras estuviesen marcadas en color rojo supondría el no cumplimiento de alguna de las comprobaciones resistentes. Como se puede observar, se da el color azul en casi la totalidad de los elementos de la estructura a excepción de ciertas zonas del arco y las vigas transversales IPEAA100, en las que se da el color amarillo. Aun así, el coeficiente de aprovechamiento de todas las barras se encuentra por debajo de la unidad como indica la gráfica de colores mostrada en la imagen.

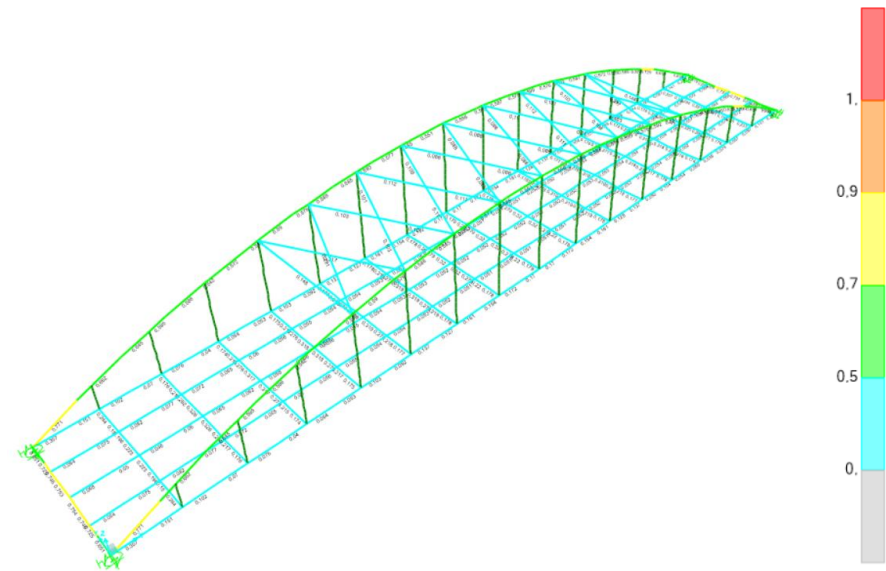


Figura 14. Coeficientes de aprovechamiento del material para cada elemento de la alternativa 4. (Fuente: SAP2000).

### 6.3.3. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO

Una vez se han llevado a cabo todas las comprobaciones estructurales de cada uno de los elementos que conforman la estructura, se procede a predimensionar los aparatos de apoyo y obtener posteriormente la rigidez necesaria que se debe introducir en cada uno de ellos.

Se escogen la misma tipología de aparatos de apoyo que la ya mencionada, explicada y mostrada en imagen en el apartado **PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO** de la alternativa 1 de este documento.



Mediante el programa SAP2000 se obtiene cual es la reacción vertical máxima en los apoyos, siendo esta de aproximadamente 90 t. A partir de esta carga máxima y acudiendo al catálogo, se escoge un rango de aparatos de apoyo cuya carga máxima es de 100 t.

Con este dato, y sabiendo que la carrera máxima por extremo de pasarela es de 20 mm según lo explicado para la alternativa 2, se escoge un aparato de apoyo que asuma una carrera de 25,9 mm para estar del lado de la seguridad, obteniendo por lo tanto que el espesor neto de goma E es de 37 mm y que el aparato de apoyo tiene las siguientes dimensiones: 200x400x52 mm, colocándose el lado más largo en perpendicular al eje del tablero.

Se calcula a continuación la rigidez del aparato de apoyo:

$$k = \frac{G * L * B}{E} = \frac{1000 * 0,200 * 0,400}{0,037} = 2162,16 \text{ kN/m}$$

siendo:

$k$ : rigidez del aparato de apoyo.

$L$  y  $B$ : dimensiones en planta en m del aparato de apoyo.

$E$ : altura neta de goma en m.

$G$ : módulo de deformación lateral del elastómero, estando este valor entre 8 y 12 kp/cm<sup>2</sup>. Se escoge  $G= 10 \text{ kp/cm}^2$ .

A partir de la rigidez obtenida de los aparatos de apoyo, se introducen en el modelo y en cada uno de los aparatos de apoyo, carritos verticales, mientras que en horizontal se introducen muelles en las direcciones "x" e "y" cuya rigidez es la calculada ( $k = 2162,16 \text{ kN/m}$ ) como se muestra en la siguiente tabla extraída de SAP2000:

Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
147	No	No	Yes	No	No	No
148	No	No	Yes	No	No	No
194	No	No	Yes	No	No	No
195	No	No	Yes	No	No	No

Tabla 28. Asignación de restricciones alternativa 4. (Fuente: SAP2000).

Joint	CoordSys	U1	U2	U3	R1	R2	R3
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m/rad	kN/m/rad
147	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0
148	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0
194	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0
195	GLOBAL	2162,16	2162,16	0	0	0	0

Tabla 29. Asignación de muelles alternativa 4. (Fuente: SAP2000).

#### 6.3.4. CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS

Se comprueba a continuación, en base a lo explicado en el apartado **CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS** de la alternativa 1, el estado límite de deformaciones para la verificación de la flecha máxima.

Para la alternativa considerada, se obtiene que  $L/1200= 20/1200=0,017 \text{ m}=17 \text{ mm}$ , mientras que el valor de la deformación obtenida a través del programa SAP2000 es de  $43 \text{ mm}$ , por lo que es necesario llevar a cabo una contraflecha vertical tal y como se explica en la alternativa 2.



#### ▪ ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO IN SITU

Se procede a continuación a llevar a cabo el predimensionamiento y comprobación de la alternativa de hormigón armado in situ. Para ello, se va a obtener la armadura longitudinal y transversal mínima tanto del piso como de las vigas longitudinales laterales en base a la normativa EHE-08, para posteriormente obtener mediante el programa SAP2000 la armadura máxima en estas zonas de la pasarela y saber finalmente, qué cuantía de armadura es necesaria en la pasarela para conseguir la seguridad estructural necesaria.

Los materiales empleados en esta alternativa, expuestos en el apartado **MATERIALES EMPLEADOS** de este documento, son el hormigón HA-35 y el acero para armadura pasiva B500S.

La resistencia de cálculo del acero tanto a tracción como a compresión es  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ , mientras que la resistencia de cálculo del hormigón es  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ ,

donde:

$f_{yk}$ : límite elástico característico del acero de las barras corrugadas. En este caso  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ .

$f_{ck}$ : resistencia característica del hormigón. En este caso  $f_{ck} = 35 \text{ kN/m}^3$ .

$\gamma_s, \gamma_c$ : coeficientes parciales de seguridad de los materiales expuestos en la *Tabla 15.3* de la EHE-08 (2011).

A efectos de la Instrucción EHE, se emplean barras de acero corrugado con unos diámetro nominales según la siguiente serie:

6-8-10-12-14-16-18-20-25-32 y-40 mm

#### 6.4. ALTERNATIVA 3

Para esta alternativa, se va a calcular en primer lugar la armadura mínima necesaria para dos elementos por separado, el piso y las vigas laterales. El número de piezas calculadas es la correspondiente a uno de los tramos de la pasarela, estando en los planos las cantidades totales.

En primer lugar, el piso se calcula como una losa y se obtienen tanto la armadura mínima longitudinal como la armadura mínima transversal en las caras de tracción y compresión. En segundo lugar, se calculan las vigas laterales de la estructura como muros, obteniendo la armadura mínima vertical y horizontal, tanto de la cara de tracción como de la cara de compresión.

En el caso de la losa, la cara de tracción es la inferior al existir flexión positiva en este elemento, mientras que la cara de compresión es la superior. Por lo que respecta a los muros, la cara de tracción y de compresión pueden ser tanto la interna como la externa en función del sentido en el que afecte el viento a la estructura.

En cuanto a la cara de tracción, cuando se arma un elemento a flexión compuesta se deben cumplir unas cuantías mínimas, tanto geométricas como mecánicas, por lo que la cuantía mínima de armado de la cara de tracción de una sección se obtiene conforme a la siguiente expresión:

$$A_s = \max(A_{s,geom}; A_{s,mec})$$

Las cuantías geométricas mínimas ( $A_{s,geom}$ ) se obtienen en función de la sección de hormigón, del tipo de acero y del elemento constructivo que se considere según la *Tabla 42.3.5*. de la EHE-08 (2011):



Tipo de elemento estructural		Tipo de acero
		Aceros con $f_y=500$ N/mm <sup>2</sup>
Losas		1,8
Muros	Armadura horizontal	3,2
	Armadura vertical	0,9

Tabla 30. Cuantías geométricas mínimas, en tanto por 1000, referidas a la sección total de hormigón. (Fuente: Tabla 42.3.5 de la EHE-08, 2011).

Siendo  $A_{s,geom} = A_c * K$ , obteniéndose  $K$  de la tabla anterior.

Por lo que respecta a las cuantías mecánicas ( $A_{s,mec}$ ), la armadura resistente traccionada debe cumplir la siguiente limitación, según el artículo 42.3.2 de la EHE-08 (2011):

$$A_p * f_{pd} * \frac{d_p}{d_s} + A_s * f_{yd} \geq \frac{W_1}{z} * f_{ct,m,fl} + \frac{P}{z} * \left( \frac{W_1}{A} + e \right)$$

donde:

$A_p$ : área de armadura activa adherente.

$A_s$ : área de armadura pasiva.

$f_{pd}$ : resistencia de cálculo del acero de la armadura activa adherente en tracción.

$f_{yd}$ : resistencia de cálculo del acero de la armadura pasiva en tracción.

$f_{ct,m,fl}$ : resistencia media a flexotracción del hormigón.

$W_1$ : módulo resistente de la sección bruta relativo a la fibra más traccionada.

$d_p$ : profundidad de la armadura activa desde la fibra más comprimida de la sección.

$d_s$ : profundidad de la armadura pasiva desde la fibra más comprimida de la sección.

$P$ : fuerza de pretensado descontadas las pérdidas instantáneas.

$A$ : área de la sección bruta de hormigón.

$e$ : excentricidad del pretensado respecto del centro de gravedad de la sección bruta.

$z$ : brazo mecánico de la sección. A falta de cálculos más precisos puede adoptarse  $z = 0,8 * h$ .

La estructura a dimensionar es de hormigón armado, no pretensado, por lo que la fórmula anteriormente expuesta queda de la siguiente manera:

$$A_s * f_{yd} \geq \frac{W_1}{z} * f_{ct,m,fl}$$

Sabiendo que el módulo resistente de una sección rectangular es  $W_1 = \frac{b * h^2}{6}$  y teniendo en cuenta la simplificación para el brazo mecánico que admite la norma  $z = 0,8 * h$ , se tiene que:

$$A_s * f_{yd} \geq \frac{\left( \frac{b * h^2}{6} \right)}{0,8 * h} * f_{ct,m,fl}$$

$$A_s * f_{yd} \geq \frac{b * h}{4,8} * f_{ct,m,fl}$$





Por lo tanto:

$$A_{s,mec} = \frac{(b * h) * f_{ct,m,fl}}{4,8 * f_{yd}}$$

La resistencia media a flexotracción del hormigón  $f_{ct,m,fl}$  viene dada por la siguiente expresión en función del canto total del elemento  $h$  en mm (artículo 39.1. de la EHE-08 (2011)):

$$f_{ct,m,fl} = \text{máx} \{ (1,6 - h/1000) * f_{ct,m}; f_{ct,m} \}$$

siendo:

$f_{ct,m}$ : valor de la resistencia media a tracción del hormigón, estimándose esta como  $f_{ct,m} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 0,30 * (30^{2/3}) = 3,21$  para  $f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$ .

En cuanto a la cara de compresión de una sección de hormigón, la cuantía mecánica de armado mínima se calcula según la siguiente limitación:

$$A_s * f_{yd} \geq 0,05 * N_d$$

siendo:

$N_d$ : axil de cálculo igual a  $\frac{N_{Ed}}{\gamma_c}$ .

$A_s$ : sección de armadura comprimida.

$f_{yd}$ : resistencia de cálculo del acero igual a  $\frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$ .

## 6.4.1. CÁLCULO DE LA ARMADURA MÍNIMA DE LA LOSA

### 6.4.1.1. CARA DE TRACCIÓN

#### ■ ARMADURA LONGITUDINAL ( $A_{s1}$ )

En primer lugar, se procede al cálculo de la armadura geométrica mínima:

$A_{s,geom} = A_c * K = 1758000 * 0,0009 = 1582,2 \text{ mm}^2 = 15,822 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre los 18 m que tiene de longitud el tablero resulta  $A_{s,geom} = 0,879 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

siendo:

$$A_c = 5860 * 300 = 1758000 \text{ mm}^2$$

$K = 0,0009$ ; obtenido de la *Tabla 42.3.5* de la EHE-08 (2011) (véase *Tabla 30*), al estar calculando un elemento tipo losa. Se dispone  $K = 0,0009$  ya que según un apartado de esta tabla el valor de  $K = 0,0018$  hace referencia a la cuantía mínima de cada una de las armaduras, longitudinal y transversal, repartida en las dos caras, por lo que se adopta la mitad de estos valores en cada dirección dispuestos en la cara inferior.

Respecto a la armadura mecánica mínima:

$$A_{s,mec} = \frac{(b * h) * f_{ct,m,fl}}{4,8 * f_{yd}} = \frac{(5860 * 300) * 4,173}{4,8 * 434,78} =$$

$3515,25 \text{ mm}^2 = 35,1525 \text{ cm}^2$ . Se divide entre la longitud del tablero (18 m) y se obtiene  $A_{s,mec} = 1,95 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Finalmente,



$A_{s1} = \text{máx}(0,879; 1,95) = 1,95 \text{ cm}^2/\text{m}$ , obteniéndose un total de 35 barras de diámetro  $\varnothing 12$ . Dividiendo el área total de armadura entre la longitud del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $2,20 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

▪ **ARMADURA TRANSVERSAL ( $A_{s2}$ )**

$A_{s,geom} = A_c * K = 5400000 * 0,0009 = 4860 \text{ mm}^2 = 48,60 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre los 5,86 m que tiene de ancho el tablero resulta  $A_{s,geom} = 8,29 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

siendo:

$$A_c = 18000 * 300 = 5400000 \text{ mm}^2$$

$K = 0,0009$ , obtenido de la misma manera que con la armadura longitudinal.

Se calcula a continuación la armadura mecánica mínima:

$$A_{s,mec} = \frac{(b * h) * f_{ct,m,fl}}{4,8 * f_{yd}} = \frac{(18000 * 300) * 4,173}{4,8 * 434,78}$$

$= 10797,51 \text{ mm}^2 = 107,9751 \text{ cm}^2$ . Se divide entre el ancho del tablero (5,86 m) y se obtiene  $A_{s,mec} = 18,43 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Finalmente,

$A_{s2} = \text{máx}(8,29; 18,43) = 18,43 \text{ cm}^2/\text{m}$ , obteniéndose un total de 100 barras de diámetro  $\varnothing 12$ . Dividiendo el área total de armadura entre el ancho del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $19,30 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

6.4.1.2. CARA DE COMPRESIÓN

▪ **ARMADURA LONGITUDINAL ( $A_{s1}$ )**

Como armadura longitudinal de la cara de compresión de la losa se coloca la armadura geométrica mínima calculada anteriormente, no sin antes verificar que la armadura mínima por compresión es menor que esta:

$A_{s1} = A_{s,geom} = 0,879 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Se obtienen por lo tanto 21 barras de diámetro  $\varnothing 10 \text{ mm}$ .

Se calcula la armadura mínima por compresión mediante la siguiente fórmula:

$$A_s * f_{yd} \geq 0,05 * N_d$$

siendo

$$N_d = \frac{N_{Ed}}{\gamma_c} = \frac{600}{1,5} = 400 \text{ kN}$$

$A_s$ : sección de armadura comprimida.

$f_{yd}$ : resistencia de cálculo del acero igual a  $\frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$ .

$A_s \geq \frac{0,05 * N_d}{f_{yd}} \geq 46 \text{ mm}^2 = 0,46 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre 18 m se obtienen  $0,025 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Se dispone la cuantía geométrica mínima al ser más restrictiva.

Dividiendo el área total de armadura entre la longitud del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $0,92 \text{ cm}^2/\text{m}$ .



▪ **ARMADURA TRANSVERSAL ( $A_{s2}$ )**

$A_{s,geom} = A_c * K = 5400000 * 0,0009 = 4860 \text{ mm}^2 = 48,60 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre los 5,86 m que tiene de ancho el tablero resulta  $A_{s,geom} = 8,29 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

siendo:

$$A_c = 18000 * 300 = 5400000 \text{ mm}^2$$

$K = 0,0009$ , obtenido de la misma manera que con la armadura longitudinal.

La armadura por compresión calculada anteriormente es menor que la cuantía geométrica, por lo que:

$A_{s2} = A_{s,geom} = 8,29 \text{ cm}^2/\text{m}$ . Se obtienen por lo tanto 65 barras de diámetro  $\varnothing 10$  mm. Dividiendo el área total de armadura entre el ancho del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $8,71 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Como resumen de las armaduras mínimas a disponer en la losa se adjunta la siguiente tabla:

Armado mínimo de losa	Cara tracción		Cara compresión	
	Armadura longitudinal	Armadura transversal	Armadura longitudinal	Armadura transversal
Área ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )	2,20	19,30	0,92	8,71
N.º de barras	35	100	21	65
Diámetro (mm)	12	12	10	10

Tabla 31. Armado mínimo de losa. (Fuente: elaboración propia).

6.4.2. CÁLCULO DE LA ARMADURA MÍNIMA DEL MURO

En el cálculo de la cuantía geométrica mínima del muro es necesario tener en cuenta dos consideraciones expuestas en la *Tabla 42.3.5* de la EHE-08 (2011), mencionadas a continuación:

-“La cuantía mínima vertical es la correspondiente a la cara de tracción. Se recomienda disponer en la cara opuesta una armadura igual al 30% de la consignada.”

-“En el caso en que se dispongan juntas verticales de contracción a distancias no superiores a 7,5 m, con la armadura horizontal interrumpida, las cuantías geométricas horizontales mínimas pueden reducirse al 2 por mil. La armadura mínima horizontal debe repartirse en ambas caras. Para muros vistos por ambas caras debe disponerse el 50% en cada cara.”

6.4.2.1. CARA DE TRACCIÓN

▪ **ARMADURA VERTICAL ( $A_{s,Tv}$ )**

$$A_{s,Tv} = \text{máx}(A_{s,geom}; A_{s,mec})$$

$A_{s,geom} = A_c * K = 4500000 * 0,0009 = 4050 \text{ mm}^2 = 40,50 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre los 1,5 m que tiene la viga de altura resulta  $A_{s,geom} = 27 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

siendo:

$$A_c = 18000 * 250 = 4500000 \text{ mm}^2$$

$K = 0,0009$ , obtenido de la *Tabla 42.3.5* de la EHE-08 (2011).



Se calcula a continuación la armadura mecánica mínima:

$$A_{s,mec} = \frac{(b * h) * f_{ct,m,fl}}{4,8 * f_{yd}} = \frac{(18000 * 250) * 4,33}{4,8 * 434,78}$$

=9336,62 mm<sup>2</sup> = 93,36 cm<sup>2</sup>. Se divide entre la altura de la viga (1,5 m) y se obtiene  $A_{s,mec} = 62,24 \text{ cm}^2/m$ .

Finalmente,

$A_{s,Tv} = \text{máx}(27; 62,24) = 62,24 \text{ cm}^2/m$ , obteniéndose un total de 85 barras de diámetro Ø12 mm. Dividiendo el área total de armadura entre la altura del muro se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $64,09 \text{ cm}^2/m$ .

#### ▪ ARMADURA HORIZONTAL ( $A_{s,Th}$ )

$$A_{s,Th} = \text{máx}(A_{s,geom}; A_{s,mec})$$

$A_{s,geom} = A_c * K = 375000 * 0,001 = 375 \text{ mm}^2 = 3,75 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre los 18 m que mide el tablero resulta  $A_{s,geom} = 0,21 \text{ cm}^2/m$ .

siendo:

$$A_c = 1500 * 250 = 375000 \text{ mm}^2$$

$K = 0,001$ , obtenido de la *Tabla 42.3.5* de la EHE-08 (2011).

Se calcula a continuación la armadura mecánica mínima:

$$A_{s,mec} = \frac{(b * h) * f_{ct,m,fl}}{4,8 * f_{yd}} = \frac{(250 * 1500) * 3,21}{4,8 * 434,78}$$

=576,8 mm<sup>2</sup> = 5,76 cm<sup>2</sup>. Se divide entre la longitud del tablero (18 m) y se obtiene  $A_{s,mec} = 0,32 \text{ cm}^2/m$ .

Al ser esta última cuantía más restrictiva que la anterior, se escoge  $A_{s,Th} = 0,32 \text{ cm}^2/m$ , obteniéndose un total de 8 barras de diámetro Ø12 mm. Dividiendo el área total de armadura entre la longitud del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $0,50 \text{ cm}^2/m$ .

#### 6.4.2.2. CARA DE COMPRESIÓN

##### ▪ ARMADURA VERTICAL ( $A_{s,Tv}$ )

$$A_{s,Tv} = \text{máx}(A_{s,geom}; A_{s,mec})$$

La cuantía mínima geométrica corresponde al 30% de la cuantía geométrica dispuesta en la cara de tracción, según se comenta al inicio del cálculo de la armadura del muro.

$$A_{s,geom} = 30\% \text{ de } A_{s,Tv, \text{cara tracción}} = 0,30 * 62,24 = 18,67 \frac{\text{cm}^2}{m}$$

En cuanto a la cuantía mecánica, se debe cumplir la siguiente limitación:

$$A_s * f_{yd} \geq 0,05 * N_d$$

siendo

$$N_d = \frac{N_{Ed}}{\gamma_c} = \frac{600}{1,5} = 400 \text{ kN}.$$

$A_s$ : sección de armadura comprimida.

$f_{yd}$ : resistencia de cálculo del acero igual a  $\frac{500}{1,15} = 434,78$ .



$A_{s,mec} \geq \frac{0,05 \cdot N_d}{f_{yd}} \geq 46 \text{ mm}^2 = 0,46 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre 1,5 m resultan  $0,31 \text{ cm}^2/m$ .

Finalmente,

$A_{s,Tv} = \text{máx}(18,67; 0,31) = 18,67 \text{ cm}^2/m$ , obteniéndose un total de 65 barras de diámetro  $\varnothing 8$  mm. Dividiendo el área total de armadura entre la altura del muro se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $21,78 \text{ cm}^2/m$ .

▪ **ARMADURA HORIZONTAL ( $A_{s,Th}$ )**

$$A_{s,Th} = \text{máx}(A_{s,geom}; A_{s,mec})$$

$A_{s,geom} = K \cdot A_c = 0,001 \cdot (375000) = 375 \text{ mm}^2 = 3,75 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre los 18 m que mide el tablero resulta  $A_{s,geom} = 0,21 \text{ cm}^2/m$ .

siendo:

$$A_c = 1500 \cdot 250 = 375000 \text{ mm}^2$$

$K = 0,001$ , obtenido de la *Tabla 42.3.5* de la EHE-08 (2011).

La cuantía mecánica mínima es la misma que la calculada para la armadura vertical, por lo que  $A_{s,mec} = 0,46 \text{ cm}^2$ , que dividiéndolo entre 18 m que mide el tablero resultan  $0,026 \text{ cm}^2/m$ .

Finalmente,

$A_{s,Th} = \text{máx}(0,21; 0,026) = 0,21 \text{ cm}^2/m$ , obteniéndose un total de 8 barras de diámetro  $\varnothing 8$  mm. Dividiendo el área total de armadura entre la

longitud del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $0,223 \text{ cm}^2/m$ .

Sin embargo, en función de la dirección en la que el viento transversal incida sobre los muros laterales, una cara de estos se encontrará en tracción y la otra en compresión. Debido a esta posible variabilidad de los esfuerzos en estas zonas de la pasarela, se decide disponer la cuantía de armado mayor calculada, tanto en la cara de tracción como en la de compresión.

Se resumen a continuación las armaduras mínimas a disponer en los muros laterales de la pasarela:

Armado mínimo de muro	Cara tracción		Cara compresión	
	Armadura horizontal	Armadura vertical	Armadura horizontal	Armadura vertical
Área ( $\text{cm}^2/m$ )	0,50	64,1	0,50	64,1
N.º de barras	8	85	8	85
Diámetro (mm)	12	12	12	12

*Tabla 32. Armado mínimo de muro. (Fuente: elaboración propia).*

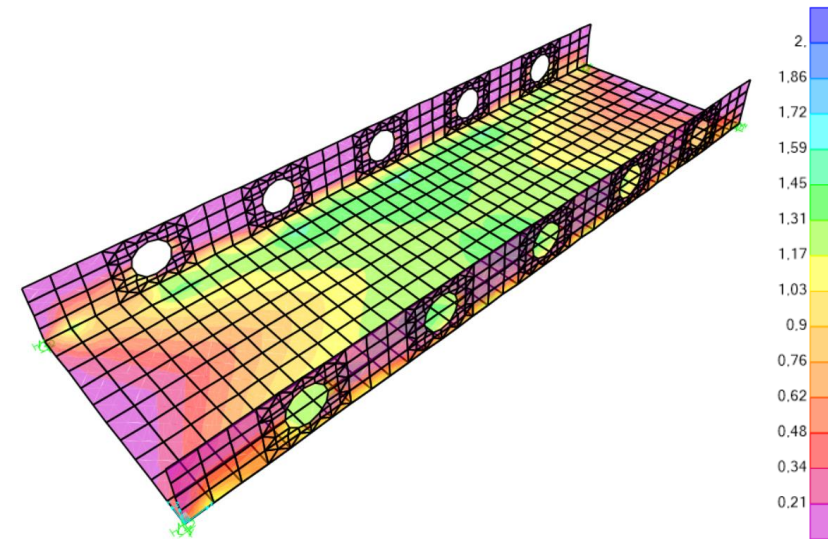
### 6.4.3. CÁLCULO DE LA ARMADURA MÁXIMA DE LA LOSA

Una vez se ha obtenido la armadura mínima a disponer tanto en la losa como en los muros laterales, se calcula a continuación la armadura máxima necesaria mediante el programa SAP2000.



Esta armadura máxima se obtiene introduciendo cada una de las armaduras mínimas obtenidas anteriormente en la opción de diseño de hormigón, llegando a una imagen de la estructura en la que se distinguen diferentes colores. En aquellas zonas en las que el elemento considerado se encuentre de color morado, es suficiente con disponer la armadura mínima calculada. Sin embargo, para aquellas zonas en las que no se encuentre el color morado, es necesaria una mayor cantidad de armadura según la barra de colores indicada en el lateral de cada una de las imágenes.

Se obtiene como resultado la figura siguiente:



#### 6.4.3.1. CARA DE TRACCIÓN

##### ARMADURA LONGITUDINAL ( $A_{s1}$ )

Se introducen los siguientes datos en SAP2000:

Display Shell Stresses

Case/Combo: COMB1

Component Type:  Resultant Forces,  Shell Stresses,  Shell Strains,  Shell Layer Stresses,  Shell Layer Strains,  Concrete Design

Multivalued Options:  Envelope Max,  Envelope Min,  Step (1)

Contour Range:  Automatic Contour Range,  User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 0.22 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 2 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging:  None,  At All Joints,  Over Objects and Group (Set Groups...)

Miscellaneous Options:  Show Deformed Shape,  Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Output Type:  Visible Face,  Top Face,  Bottom Face,  Maximum,  Minimum,  Absolute Maximum

Component:  N11,  N12,  NMax,  NMin,  NDes1,  NDes2,  AS1,  AS2,  Fc,  Sc

Buttons: Reset Form to Default Values, Reset Form to Current Window Settings, OK, Close, Apply

Se observa que en la zona lateral de la losa es suficiente con disponer la armadura mínima calculada en el apartado anterior ( $2,05 \text{ cm}^2/m$ ), pero conforme se va avanzando hacia la zona central del piso es conveniente aumentar la cuantía de armadura ya que la flexión es mayor, hasta llegar a una cuantía máxima de  $1,4 \text{ mm}^2/\text{mm}$ , es decir,  $14 \text{ cm}^2/m$ , disponiendo 55 barras de diámetro  $\varnothing 25 \text{ mm}$  en la zona central en la que se necesitan. Dividiendo el área total de armadura entre la longitud del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $15 \text{ cm}^2/m$ .





- ARMADURA TRANSVERSAL ( $A_{s2}$ )

Se introducen los siguientes datos en el programa SAP2000:

Display Shell Stresses

Case/Combo  
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options  
 Envelope Max  
 Envelope Min  
 Step: 1

Contour Range  
 Automatic Contour Range  
 User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 1,93 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 3 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging  
 None  
 At All Joints  
 Over Objects and Groups: Set Groups...

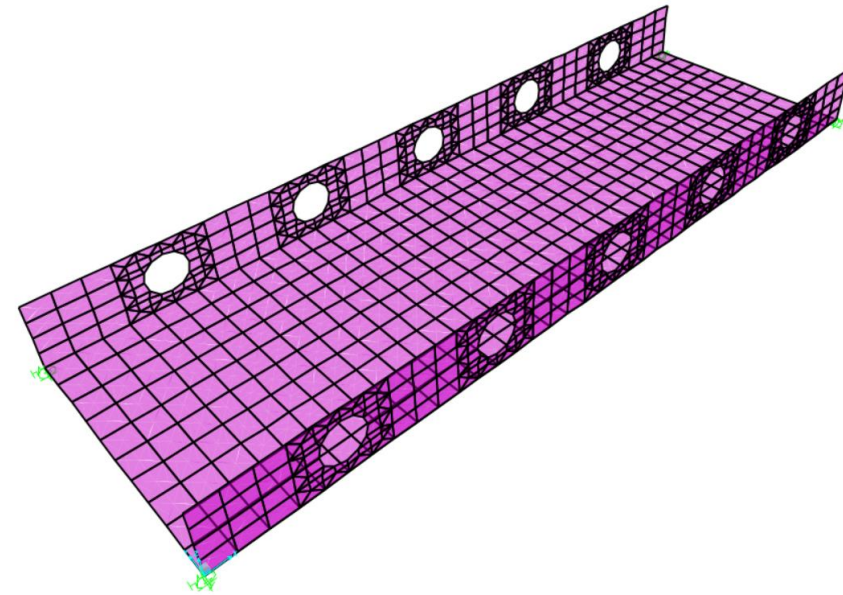
Miscellaneous Options  
 Show Deformed Shape  
 Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Component Type  
 Resultant Forces  
 Shell Stresses  
 Shell Strains  
 Shell Layer Stresses  
 Shell Layer Strains  
 Concrete Design

Output Type  
 Visible Face  
 Top Face  
 Bottom Face  
 Maximum  
 Minimum  
 Absolute Maximum

Component  
 N11  
 N22  
 N12  
 NMax  
 NMin  
 NDes1  
 NDes2  
 ASt1  
 ASt2  
 Fc  
 Sc

Reset Form to Default Values  
 Reset Form to Current Window Settings  
 OK Close Apply



Toda la losa se encuentra de color morado, por lo que no es necesario disponer como armadura transversal en la cara de tracción de la losa más armadura que la mínima calculada anteriormente:  $A_{s2} = 19,30 \text{ cm}^2 / \text{m}$ , siendo esto 100 barras de diámetro  $\varnothing 12 \text{ mm}$ .

Se obtiene como resultado la figura siguiente:

#### 6.4.3.2. CARA DE COMPRESIÓN

- ARMADURA LONGITUDINAL ( $A_{s1}$ )

Se introducen los siguientes datos en el programa SAP2000:





✦ Display Shell Stresses

Case/Combo  
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options  
 Envelope Max  
 Envelope Min  
 Step: 1

Contour Range  
 Automatic Contour Range  
 User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 0,09 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 1,5 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging  
 None  
 At All Joints  
 Over Objects and Group: Set Groups...

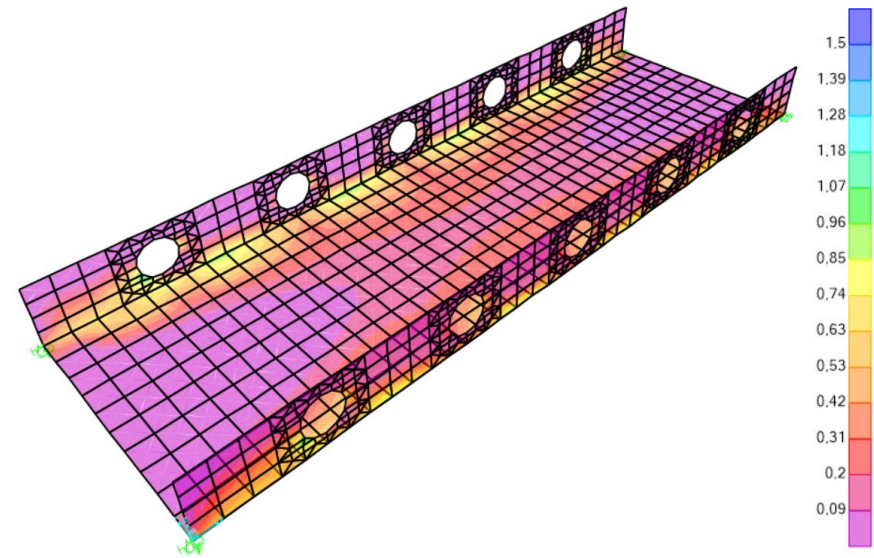
Miscellaneous Options  
 Show Deformed Shape  
 Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Component Type  
 Resultant Forces  
 Shell Stresses  
 Shell Strains  
 Shell Layer Stresses  
 Shell Layer Strains  
 Concrete Design

Output Type  
 Visible Face  
 Top Face  
 Bottom Face  
 Maximum  
 Minimum  
 Absolute Maximum

Component  
 N11  
 N22  
 N12  
 NMax  
 NMin  
 NDes1  
 NDes2  
 ASt1  
 ASt2  
 Fc  
 Sc

Reset Form to Default Values  
 Reset Form to Current Window Settings  
 OK Close Apply



Como armadura longitudinal máxima en la cara de compresión de la losa se dispone  $0,5 \text{ mm}^2/\text{mm}$ , es decir,  $5 \text{ cm}^2/\text{m}$ , de los que se disponen 45 barras de diámetro  $\varnothing 16 \text{ mm}$  en la zona central en la que son necesarias. Dividiendo el área total de armadura entre la longitud del tablero se obtiene la cuantía que se dispone, siendo esta de  $5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Se obtiene como resultado la figura siguiente:

▪ **ARMADURA TRANSVERSAL ( $A_{s2}$ )**

Se introducen los siguientes datos en el programa SAP2000:



Display Shell Stresses

Case/Combo  
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options  
 Envelope Max  
 Envelope Min  
 Step: 1

Contour Range  
 Automatic Contour Range  
 User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 0,87 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 1 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging  
 None  
 At All Joints  
 Over Objects and Group: Set Groups...

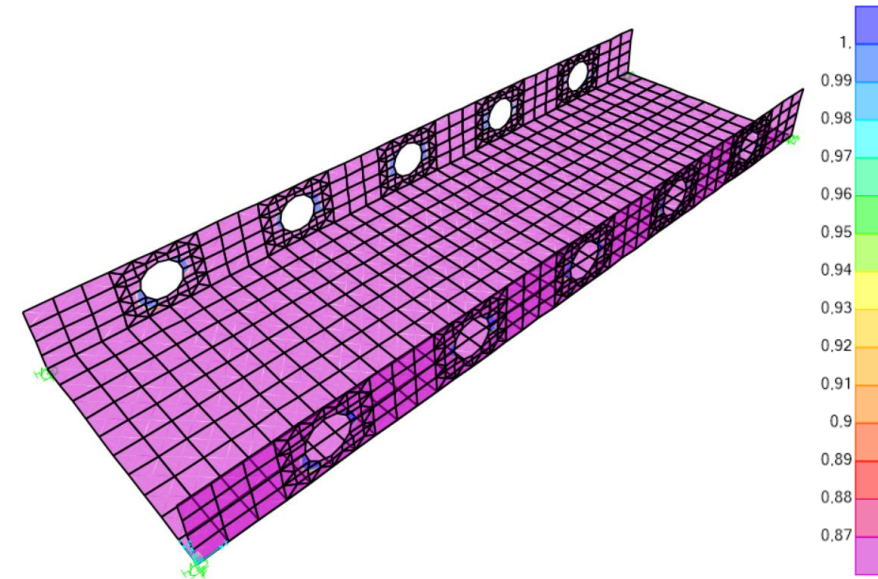
Miscellaneous Options  
 Show Deformed Shape  
 Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Component Type  
 Resultant Forces  
 Shell Stresses  
 Shell Strains  
 Shell Layer Stresses  
 Shell Layer Strains  
 Concrete Design

Output Type  
 Visible Face  
 Top Face  
 Bottom Face  
 Maximum  
 Minimum  
 Absolute Maximum

Component  
 N11  
 N22  
 N12  
 NMax  
 NMin  
 NDes1  
 NDes2  
 ASt1  
 ASt2  
 Fc  
 Sc

Buttons: Reset Form to Default Values, Reset Form to Current Window Settings, OK, Close, Apply



Toda la losa se encuentra de color morado, por lo que no es necesario disponer como armadura transversal en la cara de compresión de la losa más armadura que la mínima calculada anteriormente:  $A_{s2} = 8,71 \text{ cm}^2/m$  con 65 barras de diámetro  $\varnothing 10 \text{ mm}$ .

Se obtiene como resultado la figura siguiente:

Armado máximo de losa	Cara tracción		Cara compresión	
	Armadura longitudinal	Armadura transversal	Armadura longitudinal	Armadura transversal
Área ( $\text{cm}^2/m$ )	15	19,3	5	8,71
N.º de barras	55	100	45	65
Diámetro (mm)	25	12	16	10

Tabla 33. Armado máximo de losa. (Fuente: elaboración propia).

## 6.4.4. CÁLCULO DE LA ARMADURA MÁXIMA DEL MURO

### 6.4.4.1. CARA DE TRACCIÓN

- ARMADURA VERTICAL ( $A_{s,Tv}$ )

Se introducen los siguientes datos en el programa SAP2000:

Display Shell Stresses

Case/Combo  
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options  
 Envelope Max  
 Envelope Min  
 Step: 1

Contour Range  
 Automatic Contour Range  
 User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 6,41 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 7 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging  
 None  
 At All Joints  
 Over Objects and Group: Set Groups...

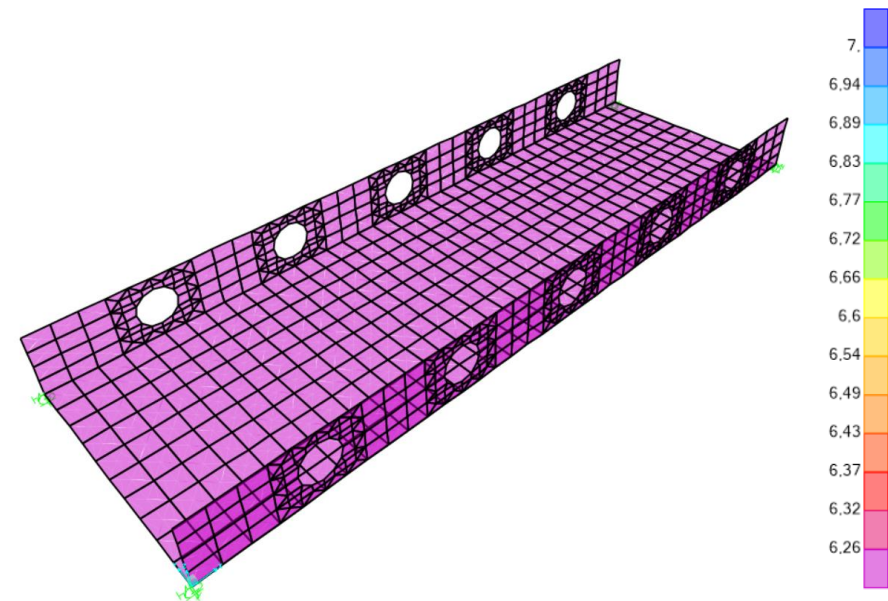
Miscellaneous Options  
 Show Deformed Shape  
 Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Component Type  
 Resultant Forces  
 Shell Stresses  
 Shell Strains  
 Shell Layer Stresses  
 Shell Layer Strains  
 Concrete Design

Output Type  
 Visible Face  
 Top Face  
 Bottom Face  
 Maximum  
 Minimum  
 Absolute Maximum

Component  
 N11  
 N22  
 N12  
 NMax  
 NMin  
 NDes1  
 NDes2  
 ASt1  
 ASt2  
 Fc  
 Sc

Buttons: Reset Form to Default Values, Reset Form to Current Window Settings, OK, Close, Apply



Todo el muro se encuentra de color morado, por lo que no es necesario disponer más armadura que la mínima calculada anteriormente (85 barras de diámetro  $\varnothing 12$  mm y una cuantía de  $64,09 \text{ cm}^2 / \text{m}$ ).

- ARMADURA HORIZONTAL ( $A_{s,Th}$ )

Se introducen los siguientes datos en el programa SAP2000:

Se obtiene como resultado la figura siguiente:



✦ Display Shell Stresses

Case/Combo  
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options  
 Envelope Max  
 Envelope Min  
 Step: 1

Contour Range  
 Automatic Contour Range  
 User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 0,05 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 1,5 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging  
 None  
 At All Joints  
 Over Objects and Group: Set Groups...

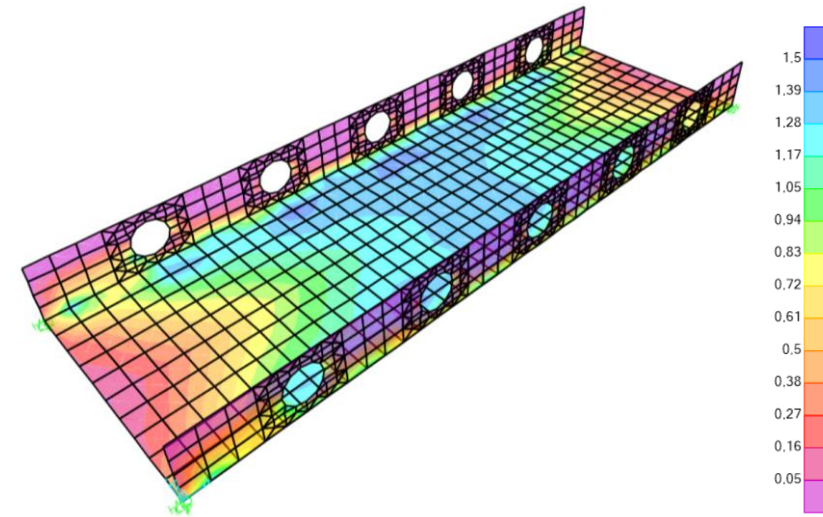
Miscellaneous Options  
 Show Deformed Shape  
 Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Component Type  
 Resultant Forces  
 Shell Stresses  
 Shell Strains  
 Shell Layer Stresses  
 Shell Layer Strains  
 Concrete Design

Output Type  
 Visible Face  
 Top Face  
 Bottom Face  
 Maximum  
 Minimum  
 Absolute Maximum

Component  
 N11  
 N22  
 N12  
 NMax  
 NMin  
 NDes1  
 NDes2  
 ASt1  
 ASt2  
 Fc  
 Sc

Reset Form to Default Values  
 Reset Form to Current Window Settings  
 OK Close Apply



Como se puede observar en las esquinas de los muros laterales, es necesario disponer más cuantía de armadura que la mínima calculada. Según la gráfica de SAP2000, se disponen  $0,25 \text{ mm}^2/\text{m}=2,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ , obteniendo en cada una de estas zonas 15 barras de diámetro  $\varnothing 20 \text{ mm}$  y cuantía de  $2,62 \text{ cm}^2/\text{m}$ .

Se obtiene como resultado la figura siguiente:

#### 6.4.4.2. CARA DE COMPRESIÓN

- ARMADURA VERTICAL ( $A_{s,Tv}$ )

Se introducen los siguientes datos en el programa SAP2000:



Display Shell Stresses

Case/Combo  
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options  
 Envelope Max  
 Envelope Min  
 Step: 1

Contour Range  
 Automatic Contour Range  
 User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 2,18 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 2,5 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging  
 None  
 At All Joints  
 Over Objects and Group: Set Groups...

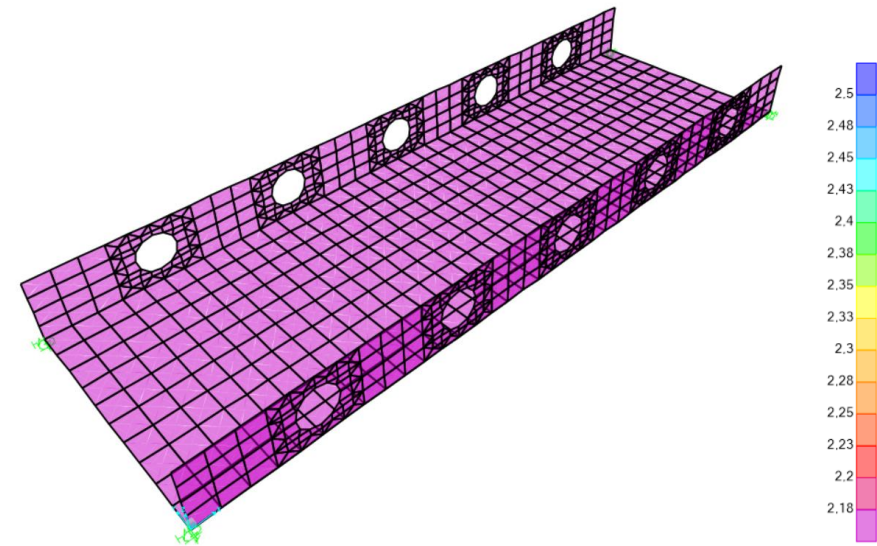
Miscellaneous Options  
 Show Deformed Shape  
 Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Component Type  
 Resultant Forces  
 Shell Stresses  
 Shell Strains  
 Shell Layer Stresses  
 Shell Layer Strains  
 Concrete Design

Output Type  
 Visible Face  
 Top Face  
 Bottom Face  
 Maximum  
 Minimum  
 Absolute Maximum

Component  
 N11  
 N22  
 N12  
 NMax  
 NMin  
 NDes1  
 NDes2  
 AS1  
 AS2  
 Fc  
 Sc

Reset Form to Default Values  
 Reset Form to Current Window Settings  
 OK Close Apply



Al estar todo en morado, se dispone la armadura mínima calculada anteriormente ya que no requiere de más cuantía. Estos valores mínimos son 85 barras de diámetro  $\varnothing 12$  mm y una cuantía de  $64,09 \text{ cm}^2/m$

Se obtiene como resultado la figura siguiente:

▪ **ARMADURA HORIZONTAL ( $A_{s,Th}$ )**

Se introducen los siguientes datos en el programa SAP2000:





Display Shell Stresses

Case/Combo  
Case/Combo Name: COMB1

Multivalued Options  
 Envelope Max  
 Envelope Min  
 Step: 1

Contour Range  
 Automatic Contour Range  
 User Defined Contour Range  
 Minimum Value for User Contour Range: 0,02 mm<sup>2</sup>/mm  
 Maximum Value for User Contour Range: 1,5 mm<sup>2</sup>/mm

Stress Averaging  
 None  
 At All Joints  
 Over Objects and Group: Set Groups...

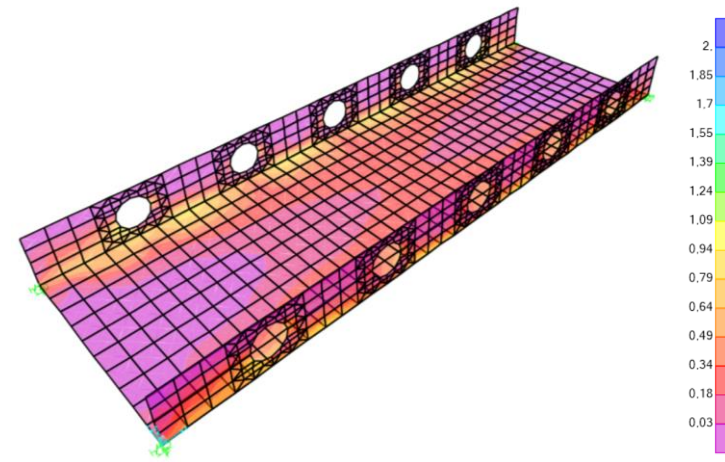
Miscellaneous Options  
 Show Deformed Shape  
 Show Continuous Contours (Enhanced Graphics)

Component Type  
 Resultant Forces  
 Shell Stresses  
 Shell Strains  
 Shell Layer Stresses  
 Shell Layer Strains  
 Concrete Design

Output Type  
 Visible Face  
 Top Face  
 Bottom Face  
 Maximum  
 Minimum  
 Absolute Maximum

Component  
 N11  
 N22  
 N12  
 NMax  
 NMin  
 NDes1  
 NDes2  
 AS1  
 AS2  
 Fc  
 Sc

Buttons: Reset Form to Default Values, Reset Form to Current Window Settings, OK, Close, Apply



En casi la totalidad de los muros es únicamente necesario colocar armadura mínima, a excepción de ciertas zonas puntuales en las esquinas de los muros, en las que se dispone una cuantía mayor en torno a  $2,5 \text{ cm}^2/m$ , obteniendo en estas zonas 15 barras de diámetro  $\varnothing 20 \text{ mm}$  y una cuantía de  $2,62 \text{ cm}^2/m$ .

Como resumen del armado máximo a disponer en el muro se incluye la siguiente tabla:

Se obtiene como resultado la figura siguiente:

Armado máximo de muro	Cara tracción		Cara compresión	
	Armadura horizontal	Armadura vertical	Armadura horizontal	Armadura vertical
Área ( $\text{cm}^2/m$ )	2,62	64,09	2,62	64,09
N.º de barras	15	85	15	85
Diámetro (mm)	20	12	20	12

Tabla 34. Armado máximo de muro. (Fuente: elaboración propia).



En el cálculo de las armaduras máximas de la pasarela de hormigón, se puede observar en cada una de las imágenes que existen ciertas zonas puntuales, como las cercanas a los orificios, en las que es necesario disponer de una cuantía de armadura mayor. Las cuantías máximas a colocar se realizan teniendo en cuenta una media de la sección transversal del elemento considerado, disponiendo refuerzos en las zonas puntuales mencionadas.

#### 6.4.5. RECUBRIMIENTO MÍNIMO Y SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE ARMADURAS

Para poder cumplir con todas las condiciones y disposiciones del análisis estructural de la pasarela a lo largo de su vida útil y que su construcción sea viable, resulta necesario llevar a cabo una serie de actuaciones protectoras frente a los mecanismos de degradación que sufre el hormigón.

Una de las causas más comunes que provoca el deterioro del hormigón armado es la corrosión, y está provocado principalmente, según la Asociación de Reparación, Refuerzo y Protección del Hormigón (ARPHO), por la llegada hasta la armadura de los iones cloruro que se encuentran en medios marinos o por el ingreso del dióxido de carbono del aire en la sección de hormigón provocando una carbonatación de este y como consecuencia una disminución de la resistencia del acero.

Por ello y para garantizar la durabilidad de la estructura a lo largo del tiempo, se debe adoptar un recubrimiento mínimo adecuado para la protección de las armaduras, y este se obtiene en base al artículo 37.2.4. de la Instrucción EHE-08 (2011).

El recubrimiento de hormigón es la distancia que debe existir entre la superficie exterior de la armadura y la superficie del hormigón más próxima (EHE-08 (2011)). Según la Instrucción, el recubrimiento mínimo se obtiene a partir de un valor nominal ( $r_{nom}$ ) según la siguiente fórmula:

$$r_{nom} = r_{min} + \Delta r = 30 + 5 = 35 \text{ mm.}$$

donde:

$r_{nom}$ : recubrimiento nominal.

$r_{min}$ : recubrimiento mínimo obtenido de la *Tabla 37.2.4.1.b* de la EHE-08 (2011). Considerando una clase de exposición IIIa y para una vida útil de 100 años, el recubrimiento mínimo es de 30 mm.

$\Delta r$ : margen de recubrimiento, que varía en función del nivel de control de ejecución, y cuyo valor se considera igual a 5 mm ya que se trata de un elemento ejecutado in situ con nivel intenso de control de ejecución.

Hormigón	Vida útil (años)	Clase general de exposición			
		IIIa	IIIb	IIIc	IV
Armado	100	30	35	40	40

*Tabla 35. Recubrimiento mínimo (mm) para las clases generales de exposición III y IV. (Fuente: Tabla 37.2.4.1.b de la EHE-08, 2011).*

Por lo que respecta a la separación máxima que debe haber entre las barras corrugadas tanto longitudinales como transversales, la armadura pasiva debe repartirse en la sección de hormigón de manera que se eviten ciertas zonas de hormigón sin acero y puedan provocar así un aumento considerable de las tensiones. Por esta razón, la distancia máxima entre dos barras consecutivas ( $s$ ) debe cumplir las siguientes limitaciones según el artículo 42.3.1. de la EHE-08 (2011):





$$s \leq 30 \text{ cm}$$

$s \leq$  tres veces el espesor bruto de la parte de la sección del elemento.

La separación entre barras se obtiene para cada caso por separado mediante la siguiente expresión:

$$s = \frac{L - 2 * x}{n^{\circ} \text{ barras} - 1}$$

siendo:

$L$ : distancia entre la que se quieren disponer las armaduras en cada caso.

$x$ : distancia entre la cara libre de hormigón y el centro de la primera armadura.

Ambas consideraciones, tanto el recubrimiento mínimo como la separación máxima entre armaduras, se tienen en cuenta en todo momento en el cálculo de las armaduras de los apartados anteriores.

#### 6.4.6. LONGITUDES DE ANCLAJE Y SOLAPO

En el presente apartado se obtienen las longitudes necesarias para poder llevar a cabo una correcta transmisión de tensiones de las armaduras al hormigón.

En base al artículo 69.5.1.2. de la EHE-08 (2011), la longitud básica de anclaje  $l_b$  obtenida de forma simplificada debe satisfacer la siguiente ecuación para barras en posición I (armaduras cuya adherencia es buena y que forman, durante el hormigonado, un ángulo de entre 45° y 90° con la horizontal):

$$l_b = m * \phi^2 \leq \frac{f_{yk}}{20} * \phi$$

donde  $\phi$  es el diámetro de la barra considerada,  $f_{yk}$  es el límite elástico del acero y  $m$  es un coeficiente numérico extraído de la *Tabla 69.5.1.2.a.* de la EHE-08 (2011) en función del tipo de acero y la resistencia característica del hormigón:

Resistencia característica del hormigón (N/mm <sup>2</sup> )	m
35	1,2

Tabla 36. Coeficiente  $m$ . (Fuente: *Tabla 69.5.1.2.a.* de la EHE-08, 2011).

En este caso, para B500S y resistencia característica del hormigón de 35 N/mm<sup>2</sup>, el valor de  $m$  es de 1,2.

En función del diámetro que se esté calculando, la longitud de anclaje no puede ser inferior a:

$$\phi = 10 \text{ mm} \rightarrow \frac{500}{20} * 10 = 250 \text{ mm} = 0,25 \text{ m.}$$

$$\phi = 12 \text{ mm} \rightarrow \frac{500}{20} * 12 = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m.}$$

$$\phi = 16 \text{ mm} \rightarrow \frac{500}{20} * 16 = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m.}$$

$$\phi = 20 \text{ mm} \rightarrow \frac{500}{20} * 20 = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m.}$$

$$\phi = 25 \text{ mm} \rightarrow \frac{500}{20} * 25 = 625 \text{ mm} = 0,625 \text{ m.}$$



Por lo que respecta a las longitudes de solapo, se calculan de la siguiente forma en base al artículo 69.5.2. de la EHE-08 (2011):

$$l_s = \alpha * l_{b,meta}$$

siendo  $l_{b,meta}$  la longitud neta de anclaje definida anteriormente y  $\alpha$  un coeficiente definido en la *Tabla 69.5.2.2.* de la EHE-08 (2011) que depende del porcentaje de barras solapadas trabajando a tracción. Para un porcentaje superior al 50%, se considera que  $\alpha = 2$ .

Se dispone de una longitud de solapo ya que, por cuestiones de suministro, las barras son de 12 m de longitud como máximo, por lo que resulta necesaria una longitud determinada para una correcta transmisión de tensiones de unas barras a otras.

Se indican a continuación las longitudes de anclaje y de solapo calculadas en función de lo explicado anteriormente para cada uno de los diámetros obtenidos:

Diámetro $\phi$ (mm)	Longitud de anclaje (m)	Longitud de solapo (m)
10	0,25	0,5
12	0,3	0,7
16	0,4	0,8
20	0,5	1
25	0,750	1,5

*Tabla 37. Longitudes de anclaje y de solapo. (Fuente: elaboración propia).*

#### 6.4.7. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO

Una vez se han obtenido las armaduras mínimas y máximas a disponer en la pasarela, se procede a predimensionar los aparatos de apoyo y obtener posteriormente la rigidez necesaria que se debe incluir para cada uno de ellos.

Se escogen aparatos de apoyo tipo B de catálogo comercial, tipología de aparato de apoyo ya mencionada, explicada y mostrada en imagen en el apartado **PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS APARATOS DE APOYO** de la alternativa 1 de este documento.

Mediante el programa SAP2000 se obtiene la reacción vertical máxima en los apoyos, siendo esta de aproximadamente 60 t. A partir de esta carga máxima y acudiendo al catálogo, se escoge un rango de aparatos de apoyo cuya carga máxima es de 75 t.

Con este dato y sabiendo que la carrera máxima por cada extremo de la pasarela es de 10 mm según lo explicado para la alternativa 1, se escoge del catálogo un aparato de apoyo que asuma una carrera de 14,7 mm, obteniendo por lo tanto que el espesor neto de goma E es de 21 mm y que el aparato de apoyo tiene las siguientes dimensiones: 200x300x30 mm, colocándose el lado más largo en perpendicular al eje del tablero.

Se calcula a continuación la rigidez del aparato de apoyo mediante la fórmula ya citada anteriormente:

$$k = \frac{G * L * B}{E} = \frac{1000 * 0,200 * 0,300}{0,021} = 2857,14 \text{ kN/m}$$

siendo:

$k$ : rigidez del aparato de apoyo.



$L$  y  $B$ : dimensiones en planta en m del aparato de apoyo.

$E$ : altura neta de goma en m.

$G$ : módulo de deformación lateral del elastómero, estando este valor entre 8 y 12 kp/cm<sup>2</sup>. Se escoge  $G= 10$  kp/cm<sup>2</sup>.

A partir de la rigidez obtenida de los aparatos de apoyo, se introducen en el modelo y en cada uno de los aparatos de apoyo, carritos verticales, mientras que en horizontal se introducen muelles en las direcciones “x” e “y” cuya rigidez es la calculada ( $k = 2857,14$  kN/m) como se muestra en la siguiente tabla extraída de SAP2000:

Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
63	No	No	Yes	No	No	No
64	No	No	Yes	No	No	No
780	No	No	Yes	No	No	No
781	No	No	Yes	No	No	No

Tabla 38. Asignación de restricciones alternativa 3. (Fuente: elaboración propia).

Joint	CoordSys	U1	U2	U3	R1	R2	R3
		kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m/rad	kN/m/rad
63	GLOBAL	2857,14	2857,14	0	0	0	0
64	GLOBAL	2857,14	2857,14	0	0	0	0
780	GLOBAL	2857,14	2857,14	0	0	0	0
781	GLOBAL	2857,14	2857,14	0	0	0	0

Tabla 39. Asignación de muelles alternativa 3. (Fuente: elaboración propia).

#### 6.4.8. CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS

Se comprueba a continuación, en base a lo explicado en el apartado **CRITERIO FUNCIONAL RELATIVO A FLECHAS** de la alternativa 1, el estado límite de deformaciones para verificar la flecha máxima.

Para la alternativa 3, se obtiene que  $L/1200= 20/1200=0,017$  m=17 mm, mientras que el valor de la deformación obtenida a través del programa SAP2000 es de 15 mm, por lo que cumple la limitación impuesta por la Instrucción.

### 7. SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Tras haber realizado la comprobación de cada elemento de las diferentes alternativas y habiendo completado el predimensionamiento de ellas y verificado su viabilidad estructural, se procede a escoger una de las alternativas como solución final. Para ello, se realiza un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de cada alternativa para obtener los criterios que se emplean en un análisis multicriterio mediante un Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

El método AHP consiste en un método de decisión multicriterio que ayuda a seleccionar entre diferentes alternativas en base a una serie de criterios jerarquizados. En el caso que nos ocupa, los criterios adoptados para llevar a cabo el método AHP son los obtenidos a través de las distintas perspectivas del ACV: perspectiva económica, perspectiva social y perspectiva ambiental, es decir, la sostenibilidad. Dentro de cada uno de ellos se definen otros subcriterios, ya sean objetivos o subjetivos.



El fundamento del método AHP se basa en la comparación pareada a través de la Escala Fundamental de Saaty (1980). Dicha escala, mostrada en la tabla inferior, permite transformar aspectos cualitativos en cuantitativos, facilitando de esta forma la comparación entre las alternativas y ofreciendo unos resultados finales objetivos y fiables. El objetivo final es calcular la contribución global de cada alternativa al objetivo principal, en este caso la idoneidad de la solución.

VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 40. Escala Fundamental de Saaty (1980) de comparación por pares.  
(Fuente: El blog de Víctor Yepes, 2018).

La metodología y el procedimiento seguidos se exponen con mayor grado de detalle en el Trabajo de Fin de Grado del alumno Alberto García Cárcel. Una vez realizado el análisis multicriterio mediante la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), se obtiene que la mejor alternativa es la 4, la pasarela tipo arco atirantado (*bowstring*).

## 8. CONCLUSIÓN

En el presente anejo se lleva a cabo la explicación de la obtención de cada una de las acciones que actúan sobre las cuatro alternativas planteadas además de la combinación de cada una de estas acciones según la normativa vigente.

Posteriormente y en el caso de las estructuras metálicas, se llevan a cabo las comprobaciones de cada uno de los elementos frente a esfuerzos de axil, momento, cortante y la combinación de estos tres, además del pandeo por compresión y compresión más flexión, todo ello de acuerdo con la Instrucción de Acero Estructural (EAE, 2011). Por lo que respecta a la alternativa planteada de hormigón armado, se obtiene, conforme a la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08, 2011), las cuantías de armadura mínima tanto para el piso como para las vigas longitudinales laterales, y finalmente las cuantías máximas empleando el programa informático SAP2000.

De este anejo cabe destacar la importancia de llevar a cabo el cálculo estructural de Estado Límite Último (ELU) de todas las alternativas planteadas para poder verificar que cada una de ellas cumplen todos los requisitos para poder afirmar su viabilidad a lo largo de la vida útil de la pasarela, y poder llevar a cabo posteriormente una selección de la mejor alternativa mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP).



## 9. REFERENCIAS

Asociación de Reparación, Refuerzo y Protección del hormigón (ARPHO) (2016). La corrosión de las armaduras.

<https://www.arpho.org/comunicacion/noticias/la-corrosion-las-armaduras>. Accedido el 25 de mayo de 2020.

Catálogo comercial (2013). CTT ELASTOMERIC BEARINGS. Accedido el 29 de abril de 2020.

Ministerio de Fomento (2012). Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11). [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/0820303.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0820303.pdf). Accedido el 10 de abril de 2020.

Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Caminos Naturales. [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/6.7.%20Pasarelas%20peatonales\\_tcm30-140115.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/6.7.%20Pasarelas%20peatonales_tcm30-140115.pdf). Accedido el 13 de abril de 2020.

Instituto Nacional de Estadística (INE). Anuario 1979. <https://www.ine.es/inebaseweb/search.do?monoSearchString=temperaturas>. Accedido el 15 de abril de 2020.

MONLEÓN CREMADES, S. (2017). Diseño estructural de puentes. Valencia: Universitat Politècnica de València. Accedido el 20 de abril de 2020.

MONLEÓN CREMADES, S. (2019). Curso de concepción de puentes. Vol. I: panorámica general de puentes. Valencia: Universitat Politècnica de València. Accedido el 20 de abril de 2020.

MONLEÓN CREMADES, S. (2019). Curso de concepción de puentes. Vol. II: panorámica general de puentes. Valencia: Universitat Politècnica de València. Accedido el 20 de abril de 2020.

MONLEÓN CREMADES, S. (1997). Ingeniería de puentes. Análisis estructural. Valencia: Universitat Politècnica de València. Accedido el 21 de abril de 2020.

Ministerio de Fomento (2011). Instrucción de acero estructural (EAE).

<http://www.carreteros.org/normativa/estructuras/eae/eae.pdf>. Accedido el 27 de abril de 2020.



Ministerio de Fomento (2000). Obras de paso de nueva construcción.

<http://www.carreteros.org/normativa/estructuras/otras/pdfs/obrasdepasso.pdf>. Accedido el 9 de mayo de 2020.

Ministerio de Fomento (2011). Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08).

<http://www.ponderosa.es/docs/Norma-EHE-08.pdf>. Accedido el 15 de mayo de 2020.

Ministerio de Fomento (1995). Nota técnica sobre aparatos de apoyo para puentes de carretera.

[https://www2.mitma.es/recursos\\_mfom/0860500.pdf](https://www2.mitma.es/recursos_mfom/0860500.pdf). Accedido el 28 de abril de 2020.

El blog de Víctor Yepes (2013). Durabilidad del hormigón. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/05/01/durabilidad-del-hormigon/>. Accedido el 21 de mayo de 2020.

Software, Dlubal (2020). Free Online Tool for Cross-Sectional Properties. <https://www.dlubal.com/es/propiedades-de-la-sección-transversal/series-celsius-355-chs-en-10210-2-2006-04-corus.html>. Accedido el 24 de abril de 2020.

Ho, William (2006), et al. Multiple criteria decision-making techniques in higher education. International Journal of Educational Management, vol. 20, nº 5, enero de 2006, pp. 319-37. Emerald Insight, doi:10.1108/09513540610676403. Accedido el 1 de junio de 2020.

El blog de Víctor Yepes (2018). Analytic Hierarchy Process. <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/analytic-hierarchy-process/>. Accedido el 1 de junio de 2020.



---

## *ANEXOS SAP2000*

---





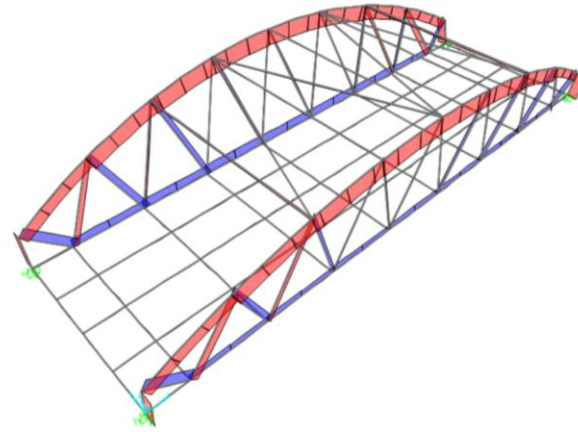
Se muestran a continuación todas las cargas que se consideran para la realización del predimensionamiento y justificación resistente de cada una de las estructuras mediante el programa informático SAP2000, además de los diagramas de axiles, momentos y cortantes para la combinación más desfavorable en cada una de las alternativas. Cabe destacar que el peso propio y la carga muerta debida al pavimento es una carga permanente que no se introduce como valor en el programa ya que ya está considerado por este.

Table: Load Pattern Definitions

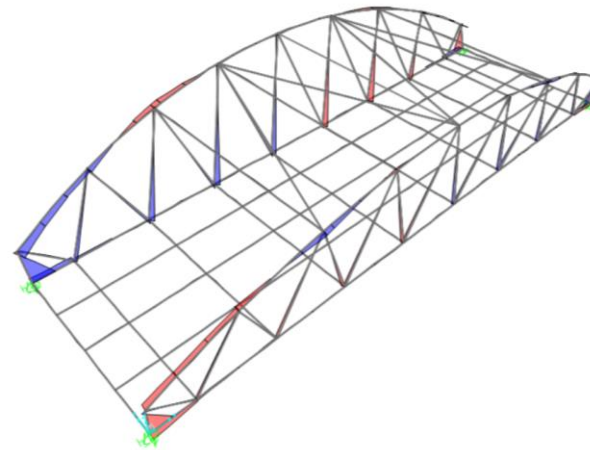
LoadPat	DesignType	SelfWtMult
Peso propio	Dead	1
Carga muerta	Dead	0
Viento vertical	Wind	0
Viento horizontal	Wind	0
Viento longitudinal	Wind	0
Sobrecarga de uso vertical	Live	0
Sobrecarga de uso horizontal	Live	0
TN,CON	Temperature	0
TN,EXP	Temperature	0
Gradiente temperatura	Temperature	0



**DIAGRAMA DE AXILES ALTERNATIVA 1 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

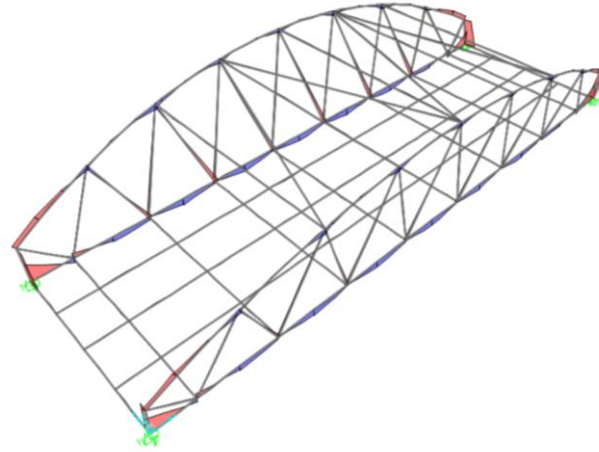


**DIAGRAMA DE MOMENTOS DE EJE 2-2 ALTERNATIVA 1 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

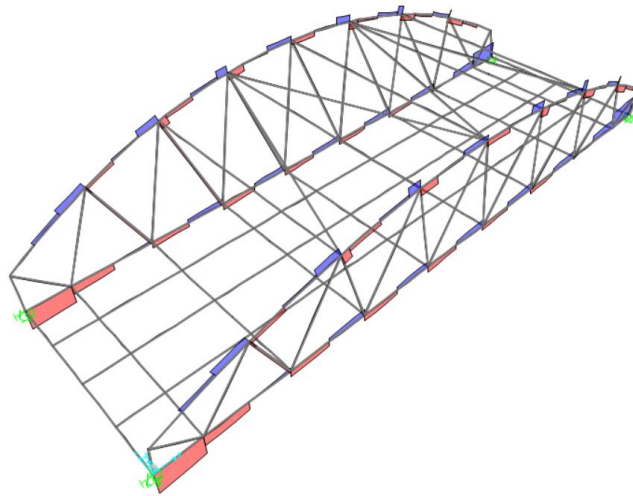




**DIAGRAMA DE MOMENTOS DE EJE 3-3 ALTERNATIVA 1 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

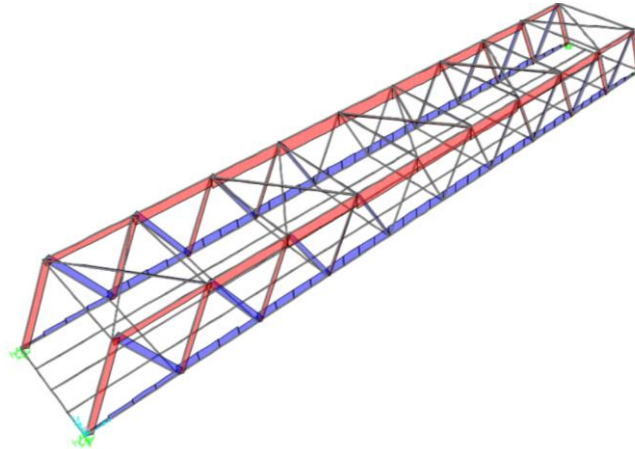


**DIAGRAMA DE CORTANTES ALTERNATIVA 1 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

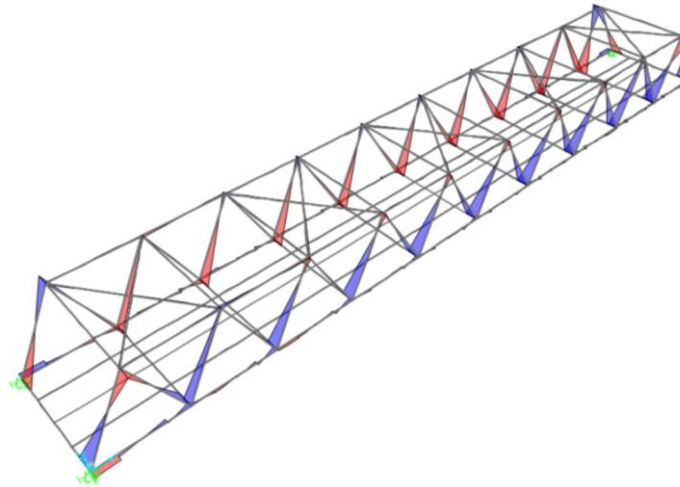




**DIAGRAMA DE AXILES ALTERNATIVA 2 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

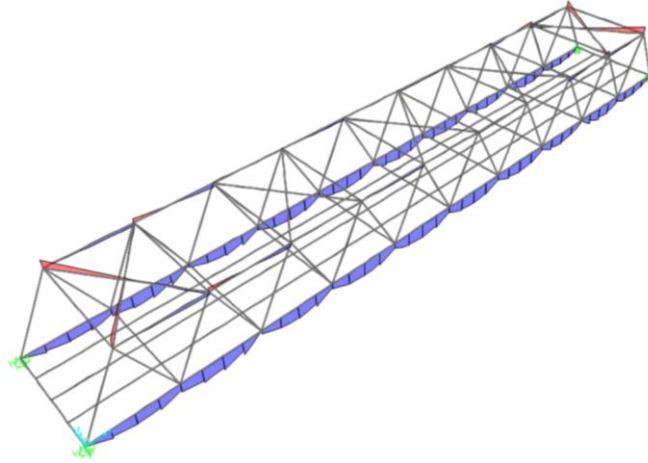


**DIAGRAMA DE MOMENTOS DE EJE 2-2 ALTERNATIVA 2 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

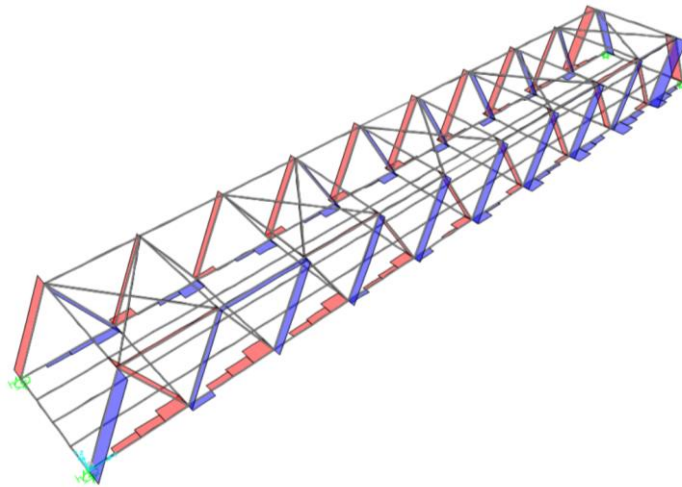




**DIAGRAMA DE MOMENTOS DE EJE 3-3 ALTERNATIVA 2 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

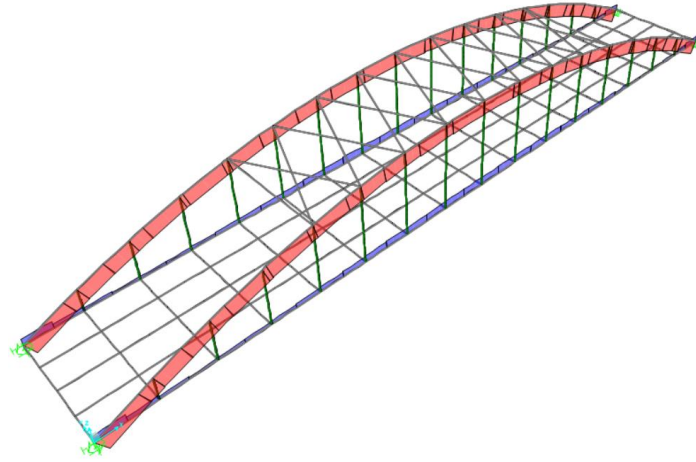


**DIAGRAMA DE CORTANTES ALTERNATIVA 2 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

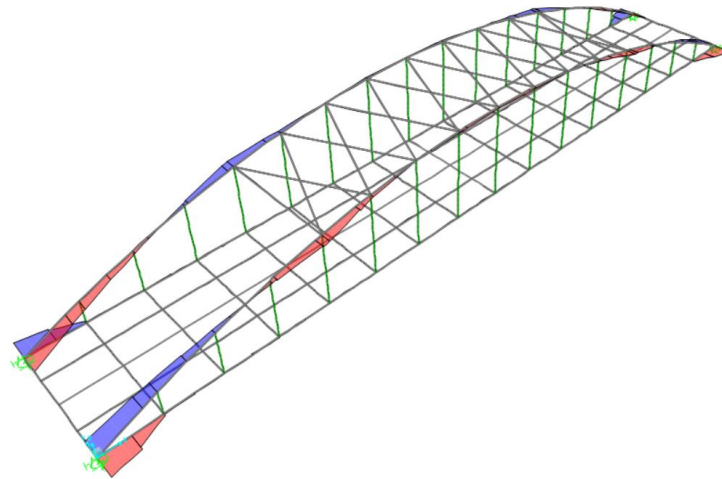




**DIAGRAMA DE AXILES ALTERNATIVA 4 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

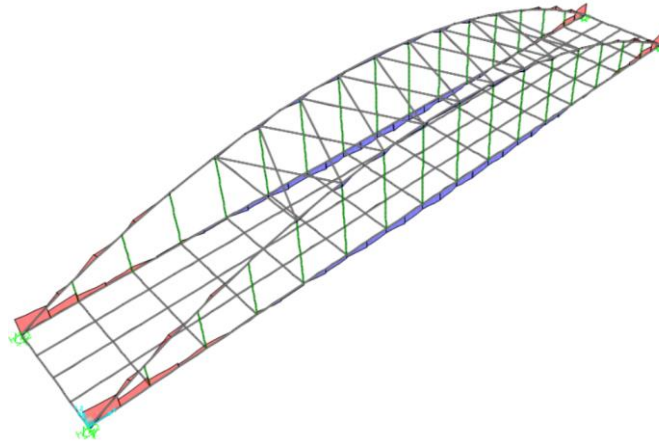


**DIAGRAMA DE MOMENTOS DE EJE 2-2 ALTERNATIVA 4 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**

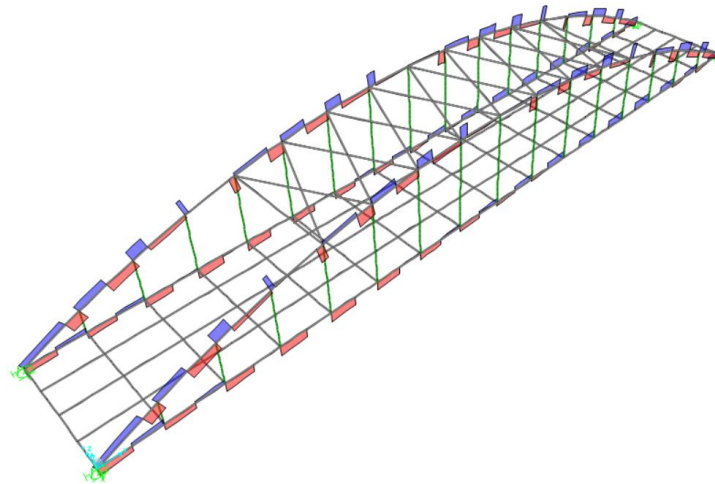




**DIAGRAMA DE MOMENTOS DE EJE 3-3 ALTERNATIVA 4 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**



**DIAGRAMA DE CORTANTES ALTERNATIVA 4 (COMBINACIÓN MÁS DESFAVORABLE)**







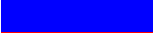
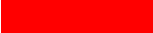


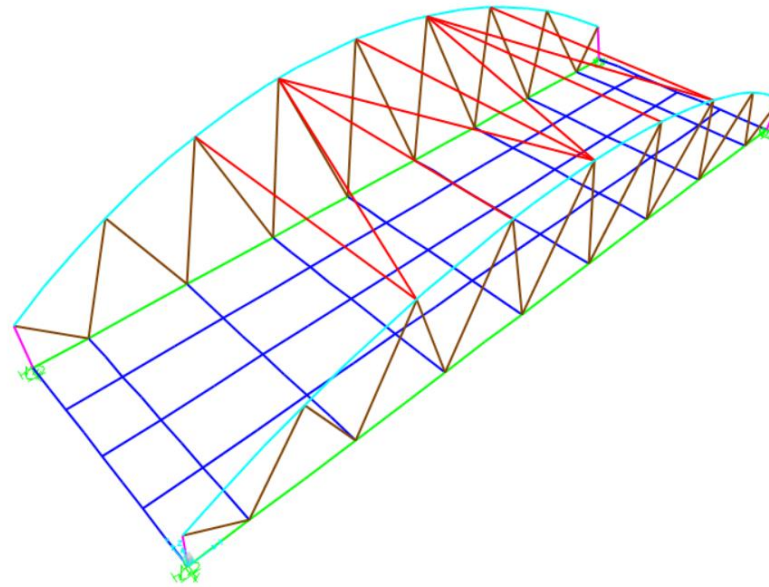


Se muestran a continuación un conjunto de tablas de definición y caracterización de las secciones que se han asignado a cada uno de los elementos que conforman las alternativas, con una imagen que muestra en diferentes colores cada una de estas secciones.

### ALTERNATIVA 1:

Table: Frame Section Properties






SectionName	Material	Shape	t3 m	t2 m	tf m	tw m	Area m2	TotalWt KN	TotalMass KN-s2/m	Colour
Arco	S355	Pipe	0,3239				0,007939	23,611	2,41	
Diagonales	S355	Pipe	0,2191				0,003363	25,934	2,64	
Viga apoyo	S355	Box/Tube	0,4	0,4	0,0125	0,0125	0,019375	6,385	0,65	
Viga longitudinal	S355	Box/Tube	0,4	0,4	0,0125	0,0125	0,019375	54,445	5,55	
Viga T80	S355	Tee	0,08	0,08	0,009	0,009	0,001359	11,858	1,21	
Vigas arriostramiento	S355	Pipe	0,1143				0,001386	6,953	0,71	

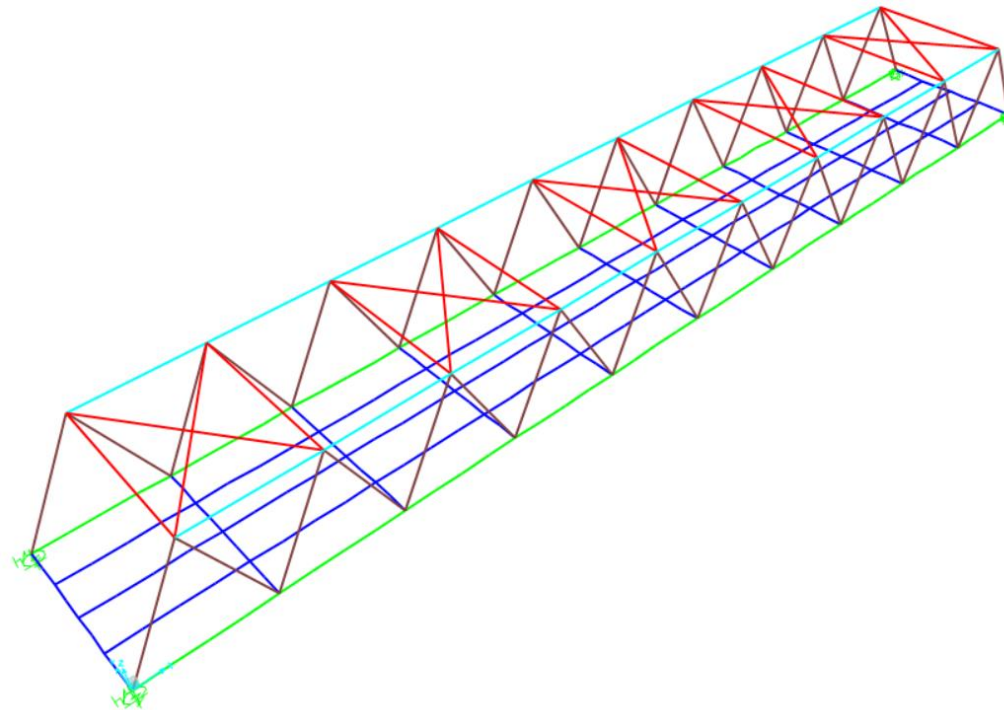




## ALTERNATIVA 2:

Table: Frame Section Properties

SectionName	Material	Shape	t3 m	t2 m	tf m	tw m	Area m2	TotalWt KN	TotalMass KN-s2/m	Colour
Cordón superior	S355	Box/Tube	0,25	0,25	0,0125	0,0125	0,011875	65,779	6,71	
Diagonales	S355	Box/Tube	0,2	0,2	0,008	0,008	0,006144	80,956	8,26	
Vigas arriostramiento	S355	Box/Tube	0,15	0,15	0,0125	0,0125	0,006875	68,551	6,99	
Viga longitudinal	S355	Box/Tube	0,4	0,4	0,0125	0,0125	0,019375	119,248	12,16	
Viga T80	S355	Tee	0,08	0,08	0,009	0,009	0,001359	19,289	1,97	





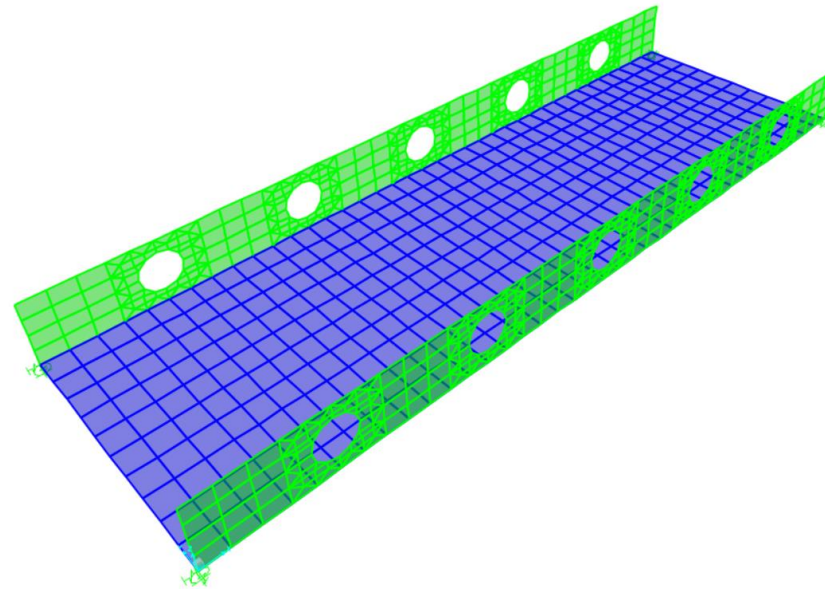
### ALTERNATIVA 3:

Table: Area Section Properties

Section	Material	AreaType	Type	DrillDOF	Thickness m	BendThick m	TotalWt KN	TotalMass KN-s2/m	Colour
ÁREA PISO	HA-35	Shell	Shell-Thick	Yes	0,3	0,3	823,461	83,97	Blue
ÁREA VIGA LATERAL	HA-35	Shell	Shell-Thick	Yes	0,25	0,25	308,897	31,5	Green

Table: Area Section Property Design Parameters

Section	RebarMat	RebarOpt	CoverTop1 m	CoverTop2 m	CoverBot1 m	CoverBot2 m	Colour
ÁREA PISO	B500S	Two Layers	0,05	0,05	0,05	0,05	Blue
ÁREA VIGA LATERAL	B500S	Two Layers	0,05	0,05	0,05	0,05	Green





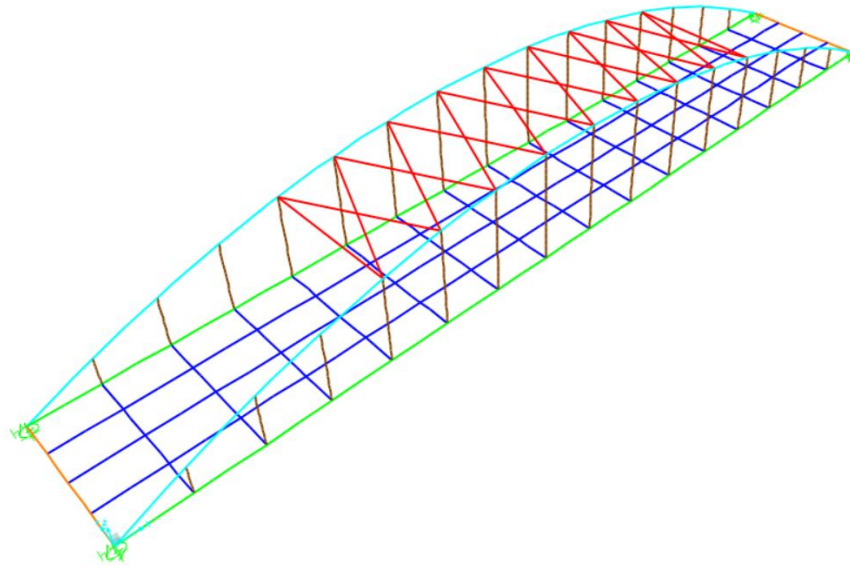
### ALTERNATIVA 4:

Table: Frame Section Properties

SectionName	Material	Shape	t3 m	t2 m	tf m	tw m	t2b m	tfb m	Area m2	TotalWt KN	TotalMass KN-s2/m	Colour
Arco	S355	Pipe	0,3239			0,01			0,009861	61,349	6,26	Cyan
Vigas arriostramiento	S355	Pipe	0,1143			0,004			0,001386	12,092	1,23	Red
Viga longitudinal	S355	Box/Tube	0,4	0,4	0,0125	0,0125			0,019375	115,898	11,82	Green
Viga T80	S355	Tee	0,08	0,08	0,009	0,009			0,001359	21,389	2,18	Blue
Viga transversal IPEAA100	S355	I/Wide Flange	0,0976	0,055	0,0045	0,0036	0,055	0,0045	0,000814	0,734	0,07488	Orange

Table: Cable Section Definitions

CableSect	Material	Specify	Diameter m	Area m2	TotalWt KN	TotalMass KN-s2/m	Colour
CABLES	Tendon	Area	0,013351	0,00014	1,108	0,11	Brown



---

## *ANEJO N.º 4: EQUIPAMIENTOS*

---

PRESENTADO POR: MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: VÍCTOR YEPES PIQUERAS

COTUTOR: JULIÁN ALCALÁ GONZÁLEZ

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

1.	OBJETO DEL PRESENTE ANEJO.....	4
2.	EVACUACIÓN DE AGUAS .....	4
2.1.	CAUDAL DE REFERENCIA .....	4
2.2.	DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE .....	6
3.	IMPOSTA .....	7
4.	ILUMINACIÓN.....	8
5.	JUNTAS DE DILATACIÓN .....	8
6.	BARANDILLAS .....	9
7.	PAVIMENTO.....	10
7.1.	PAVIMENTO PEATONES.....	10
7.2.	PAVIMENTO CARRIL BICI .....	11
7.3.	PAVIMENTO RAMPAS DE ACCESO LATERALES.....	12
8.	REFERENCIAS.....	13



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Índice de torrencialidad. (Fuente: Figura 2.4 de la Instrucción 5.2-IC., 2016). .....	5
Figura 2. Sección transversal tipo del caz. (Fuente: catálogo comercial a, 2009). .....	6
Figura 3. Geometría del caz. (Fuente: catálogo comercial a, 2009). .....	6
Figura 4. Geometría de la reja superior. (Fuente: catálogo comercial a, 2009). .....	6
Figura 5. Imposta de hormigón armado. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD). .....	8
Figura 6. Luminarias de la pasarela. (Fuente: catálogo comercial b, 2020). .....	8
Figura 7. Junta tipo rótula plasto-elástica. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....	9
Figura 8. Refuerzo en los arranques de barandilla. (Fuente: catálogo comercial c, 2015). .....	10
Figura 9. Barandillas a disponer en la pasarela. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD). .....	10





## 1. OBJETO DEL PRESENTE ANEJO

El objetivo del presente anejo es la definición de aquellos elementos que se disponen en toda la longitud de la pasarela que no son estructurales pero que ayudan a la funcionalidad y confort de los usuarios.

Los equipamientos son indispensables para el funcionamiento y durabilidad de una pasarela, y se incluyen en este documento el sistema de drenaje, la imposta, las luminarias, las juntas de dilatación y las barandillas.

## 2. EVACUACIÓN DE AGUAS

### 2.1. CAUDAL DE REFERENCIA

Para el cálculo del caudal de referencia se va a seguir la Instrucción 5.2-IC. Drenaje superficial y el documento Máximas lluvias diarias en la España Peninsular, empleando la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C * A * I}{K} = \frac{0,81 * 100 * 287,8}{3000} = 7,77 \text{ l/s}$$

Se procede a obtener cada uno de los valores de la fórmula anterior:

$K$ : coeficiente que depende de las unidades en las que se expresen  $Q$  y  $A$ .

Para  $Q$  en  $l/s$  y  $A$  en  $m^2$ ,  $K = 3000$ .

$C$ : coeficiente medio de escorrentía de la superficie drenada. Se calcula de la siguiente forma:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d}{P_0} - 1\right) * \left(\frac{P_d}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d}{P_0} + 11\right)^2} = \frac{\left(\frac{165,44}{10} - 1\right) * \left(\frac{165,44}{10} + 23\right)}{\left(\frac{165,44}{10} + 11\right)^2} = 0,81$$

siendo:

$P_0$ : umbral de escorrentía que, según el apartado 5.2. de la Instrucción, puede tomarse igual a 10 mm de forma conservadora.

$P_d$ : precipitación total diaria. Es el producto del cuantil regional "Y" y la máxima precipitación anual diaria "P". El cuantil es de 2,068 y se obtiene de la *Tabla 7.1* del documento Máximas lluvias diarias en la España Peninsular para un coeficiente de variación  $C_v = 0,51$  (*Figura 3.2.*), mientras que la máxima precipitación anual diaria se extrae de la Hoja 4.4. del anejo de este mismo documento y es de 80 mm/día.

$$P_d = 2,068 * 80 = 165,44 \text{ mm/día}$$

$A$ : área de la superficie drenada. Se considera la mitad del tablero:

$$A = 40 * 2,5 = 100 \text{ m}^2$$

$I$ : intensidad media de precipitación correspondiente al periodo de retorno  $T$  considerado ( $T=25$  años).

$$I = I_d * \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{3,5287 - 2,5287 * T^{0,1}} = 6,9 * 11^{3,5287 - 2,5287 * 0,0833^{0,1}} = 287,8 \frac{\text{mm}}{\text{h}}$$

siendo:



$I_d$ : intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al periodo de retorno T.

$$I_d = \frac{P_d}{24} = \frac{165,44}{24} = 6,9 \text{ mm/h}$$

$\frac{I_1}{I_d} = 11$ : índice de torrencialidad. Su valor se determina en función de la zona geográfica a partir del mapa de la *Figura 2.4.* de la Instrucción y mostrado a continuación:

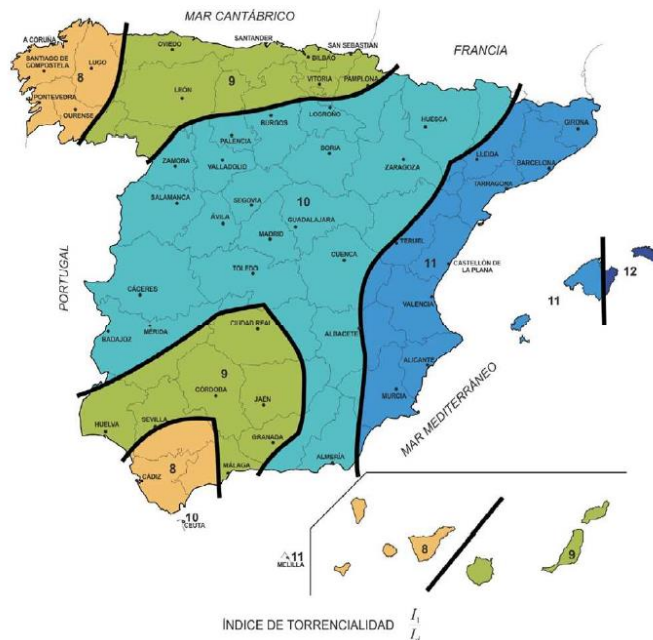


Figura 1. Índice de torrencialidad. (Fuente: Figura 2.4 de la Instrucción 5.2-IC., 2016).

$t$ : tiempo de concentración.

$$t = 0,3 * \left( \frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0,76}$$

siendo  $L$  la longitud del cauce en km y  $J$  la pendiente media.

Se calcula el tiempo de concentración para el recorrido transversal y longitudinal del flujo, teniendo en cuenta que según la Instrucción este valor debe ser de al menos 0,0833 h.

$$t(\text{transversal}) = 0,3 * \left( \frac{0,0025}{0,015^4} \right)^{0,76} = 0,00702 \text{ h}$$

$$t(\text{longitudinal}) = 0,3 * \left( \frac{0,02}{0,02^4} \right)^{0,76} = 0,0056 \text{ h}$$

Se ha considerado la mitad del tablero para el cálculo del tiempo de concentración longitudinal.

En ninguno de los casos anteriores se llega al valor mínimo establecido, luego  $t = 0,0833 \text{ h}$ .

Una vez definido el caudal de referencia, se procede a definir el sistema de drenaje.



## 2.2. DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de evacuación de aguas está formado por dos líneas de caces ubicados en las zonas extremas del tablero y en toda la longitud de este. El objetivo principal es dirigir el agua en sentido transversal del tablero (pendiente transversal del 1,5% en el caso del carril bici y del 2% en el caso de la zona peatonal) para posteriormente conducirla a lo largo del tablero con una pendiente longitudinal del 1%. En los extremos del tablero y en la parte intermedia de este se prevé disponer unos sumideros para la evacuación de las pluviales al terreno existente bajo tablero. Cada uno de estos sumideros consta de un tubo de PVC que recoge el agua que discurre por los canales y la expulsa hacia las cunetas de la carretera.

Los caces que se han escogido y que se disponen son los indicadas a continuación, extraídas de un catálogo comercial:

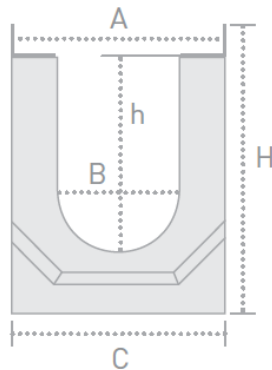


Figura 2. Sección transversal tipo del caz. (Fuente: catálogo comercial a, 2009).

De entre las diferentes posibilidades existentes, se elige el modelo CA15H22CC, cuyas dimensiones son:  $A=19$  cm,  $B=14$  cm,  $C=20$  cm,  $H=12$  cm,  $h=10$  cm. En la parte superior de estos elementos se disponen unas rejillas galvanizadas tipo trámex que sean compatibles con el canal dispuesto. Para ello se escoge una reja cuyo ancho es de 15,5 cm y cuya longitud es de 100 cm.

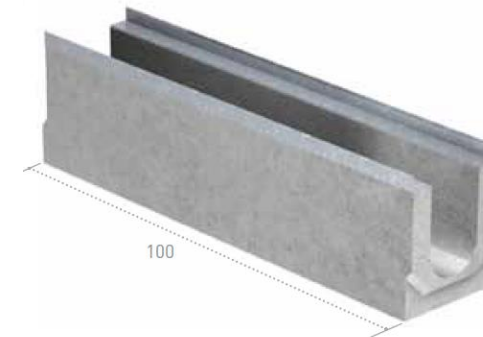


Figura 3. Geometría del caz. (Fuente: catálogo comercial a, 2009).

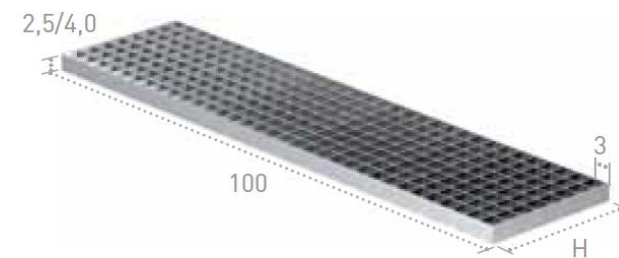


Figura 4. Geometría de la reja superior. (Fuente: catálogo comercial a, 2009).



El caz tienen las dimensiones indicadas en la figura anterior. El lado más largo es de 100 cm, por lo que es necesario disponer 40 elementos iguales a cada lado del tablero para completar toda la longitud de la pasarela.

En el catálogo comercial se puede observar que para el elemento de desagüe considerado y para una pendiente longitudinal del 1%, la capacidad hidráulica del caz es de  $14 \text{ l/s}$ , siendo este valor superior al caudal de referencia calculado anteriormente ( $7,77 \text{ l/s}$ ), por lo que el canal de drenaje dispuesto es válido para el drenaje de pluviales.

Se comprueba de todas formas que la canaleta escogida es apta para la evacuación de las aguas. Para ello, se va a emplear la fórmula de Manning, para comprobar que el flujo que circule por el caz sea menor que el calado máximo admisible de este, calculando el calado  $y$  necesario para el caudal de referencia calculado anteriormente.

$$V = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

siendo:

$V$ : velocidad del agua en el caz (m/s).  $V = \frac{Q}{A}$ . Siendo  $Q = 7,77 \text{ l/s} = 0,00777 \text{ m}^3$ .

$n$ : coeficiente de rugosidad que varía en función del material. En el caso de canales con paredes de acero  $n = 0,011$ .

$R_H$ : radio hidráulico (m), siendo este la división entre el área y el perímetro mojado.  $R_H = \frac{A}{P_m}$

$$R_H = \frac{A}{P_m} = \frac{(0,5 * \pi * 0,07^2) + (y - 0,07) * 0,14}{(\pi * 0,07) + 2 * (y - 0,07)}$$

$S$ : pendiente del canal ( $S = 0,01$ ).

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

$$\frac{0,00777}{(0,5 * \pi * 0,07^2) + (y - 0,07) * 0,14} = \frac{1}{0,011} * \left( \frac{(0,5 * \pi * 0,07^2) + (y - 0,07) * 0,14}{(\pi * 0,07) + 2 * (y - 0,07)} \right)^{2/3} * 0,01^{1/2}$$

Según la expresión anterior se obtiene un calado  $y = 0,085 \text{ m}$ , siendo este valor inferior al calado máximo que admite el caz escogido;  $y_{\text{máx}} = 0,10 \text{ m}$ .

### 3. IMPOSTA

La imposta es un elemento cuya función consiste en alejar las pluviales de los paramentos verticales del tablero, además de rectificar y marcar la arista superior del mismo.

Se dispone una imposta en cada lateral de la pasarela y en toda la longitud de esta. Es de hormigón armado prefabricado HA-25 y se ancla a las vigas longitudinales mediante pernos. Está prefabricada en módulos de 2,5 m, disponiendo de esta forma 16 elementos que forman la imposta del tablero.

Se muestra a continuación una sección transversal de la imposta:

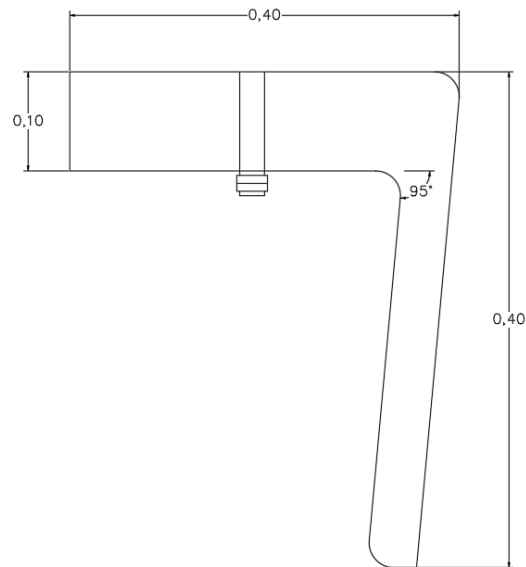


Figura 5. Imposta de hormigón armado. (Fuente: Elaboración propia en AutoCAD).

#### 4. ILUMINACIÓN

La pasarela a proyectar se encuentra ubicada en una zona relativamente alejada de zonas residenciales y no se prevé el tránsito de usuarios en horas en las que no haya luz natural. Por ello, se decide disponer una iluminación mínima, sin necesidad de garantizar el cumplimiento de los umbrales mínimos de iluminación, para dotar a la pasarela de seguridad y confort para aquellas personas que la transiten de noche.

Se colocan luminarias rasantes tipo LED en toda la longitud de la pasarela y cercanas a los bordes de la superficie de tránsito del tablero. Se disponen cada 2,5 m y al tresbolillo, de forma que cada 2,5 m haya una luminaria en un borde del tablero y que estas coincidan con la llegada al tablero de los cables, consiguiendo resaltar ambos elementos en ausencia de luz natural tanto desde el exterior como desde la posición de tránsito de viandantes y ciclistas. Se colocan 15 luminarias en total.

Los elementos de iluminación se extraen de catálogo y son como se muestran a continuación:



Figura 6. Luminarias de la pasarela. (Fuente: catálogo comercial b, 2020).

#### 5. JUNTAS DE DILATACIÓN

Las juntas de dilatación son dispositivos que interrumpen el tablero de la pasarela de manera que permiten los movimientos relativos entre las dos partes de la estructura que separan.

Para llevar a cabo la selección de la junta se establece primero la variación térmica máxima que se da en el tablero. Teniendo en cuenta la temperatura media del tablero en el momento de coacción del movimiento de 24 °C y las temperaturas máximas y mínimas, la variación térmica máxima es de  $\Delta T = 18$  °C, calculando a continuación el incremento de longitud que se da en el tablero según la siguiente expresión:

$$\Delta L = \alpha * L * \Delta T = 1,2 * 10^{-5} * 40 * 18 \approx 0,009 \text{ m} = 9 \text{ mm}$$

siendo:

$\alpha$ : coeficiente de dilatación térmica lineal.

$L$ : longitud del tablero.

Se dispone una junta tipo rótula plasto-elástica en cada extremo del tablero ya que asume movimientos de hasta 40 mm, es totalmente impermeable y cómoda para el usuario, es de larga duración, necesita poco mantenimiento y es económica por su rapidez de instalación y puesta en servicio. Se muestra una imagen de este tipo de junta:

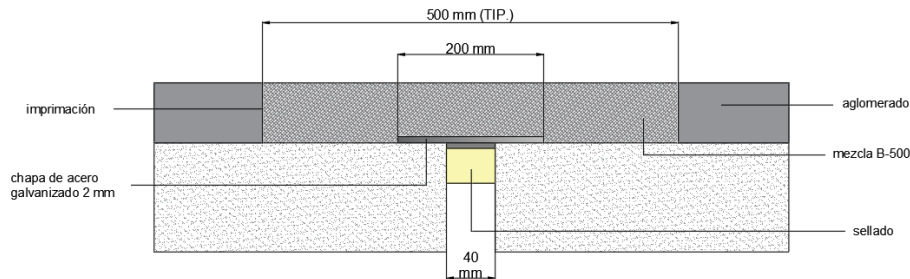


Figura 7. Junta tipo rótula plasto-elástica. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).

## 6. BARANDILLAS

Las barandillas de una pasarela son elementos fundamentales cuya definición geométrica debe responder a criterios de seguridad para los usuarios, y para poder cumplir con esta función se decide disponer barandillas de acero inoxidable de 1,5 m de altura.

Están formadas por montantes, cables y un pasamanos. Los montantes se disponen cada 2,5 m y en toda la longitud de la pasarela de manera que coincidan con los cables que unen el arco con el tablero. En cuanto al pasamanos, es de 60 mm de diámetro, y para poder garantizar la seguridad de las personas y evitar que se acerquen en exceso al borde del tablero, se retranquean 20 cm sobre la vertical de la barandilla, estando unidos a los montantes mediante tubos de acero.

Entre cada uno de estos soportes se disponen cables de acero inoxidable para poder conseguir un mantenimiento prácticamente nulo. Estos cables, de 5 mm de diámetro y tesados con una carga de 400 kg por cable, deben estar separados entre sí una distancia máxima de 15 cm por razones de seguridad, por lo que para poder cumplir con estas dimensiones se colocan, en toda la altura de la barandilla, 10 cables tensados horizontalmente y separados unos de otros 13 cm.

Los arranques de la barandilla se diseñan de forma que no puedan ser deformables en el momento en el que los cables se pongan en tensión, tal y como muestra la siguiente figura:

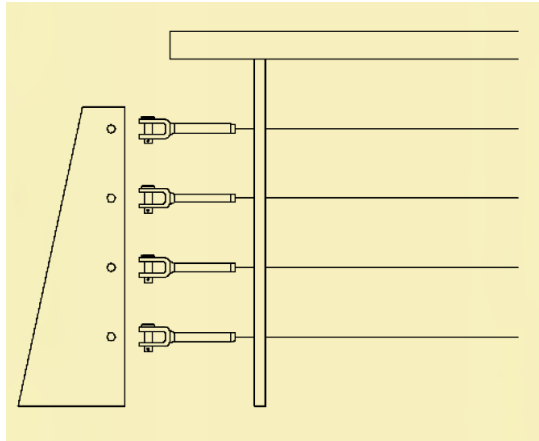


Figura 8. Refuerzo en los arranques de barandilla. (Fuente: catálogo comercial c, 2015).

Las barandillas relativas a las rampas de acceso laterales se mantienen tal y como se mostraban en el proyecto inicial. Se decide de esta manera ya que el retranqueo de las barandillas en el tramo de pasarela se realiza por razones de seguridad, evitando cualquier tipo de accidentes ya que los usuarios pueden apoyarse sobre estos elementos, y se busca alejar a las personas lo máximo posible del borde del tablero. Sin embargo, en las rampas de acceso laterales el peligro es menor al encontrarse estas a menor altura y al considerar que los usuarios no paran en estos tramos, sino que lo hacen en el tramo de tablero.

Las barandillas a disponer en el caso del tablero se muestran a continuación:

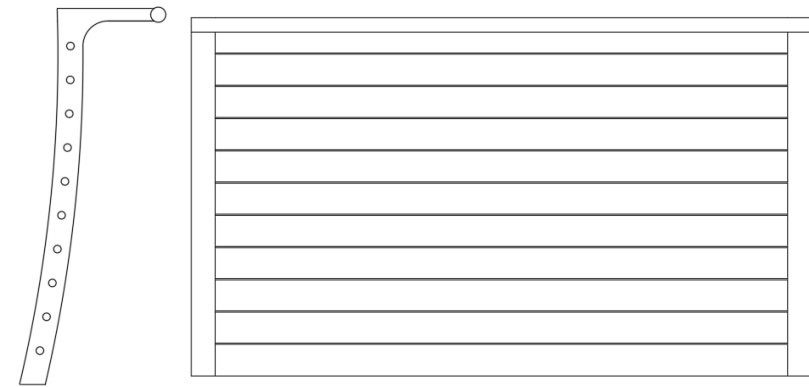


Figura 9. Barandillas a disponer en la pasarela. (Fuente: elaboración propia en AutoCAD).

## 7. PAVIMENTO

La pasarela, de 5,5 m útiles, aloja en un mismo tablero la acera para los peatones y el carril para bicicletas. Para separarlos, se decide colocar un borde de 10 cm de altura y así evitar posibles accidentes. Además, se decide darle un tratamiento diferente a cada pavimento ya que el objetivo es conseguir diferentes rugosidades.

### 7.1. PAVIMENTO PEATONES

Para la selección del pavimento se necesita uno que sea capaz de impermeabilizar el tablero de la pasarela para que el agua no afecte a la





estructura y provoque la reducción de la durabilidad de esta. Por ello, se elige un pavimento de resina epoxi sobre el hormigón del tablero ya que permite el cumplimiento de esta función además de proporcionar una rugosidad suficiente como para evitar que se convierta en una zona resbaladiza cuando esté mojado.

La colocación constará de las siguientes fases:

- Limpieza de la superficie de hormigón del tablero para eliminar suciedades y regularizar la superficie de apoyo de la resina ya que esta tiene muy poco espesor. Con todo ello se debe eliminar toda irregularidad superior a 3 milímetros gracias al lijado del hormigón.
- Colocación de la capa de resina que proporciona la impermeabilización del tablero. También se deberá colocar en los bordes laterales del tablero hasta la terminación de estos en el goterón.
- Aplicación de una capa de mortero epoxi de 10 mm de espesor sin la necesidad de dar pendientes ya que la propia estructura ya tiene las pendientes adecuadas para evacuación de aguas

En cuanto al color del pavimento se escoge un color gris.

## 7.2. PAVIMENTO CARRIL BICI

Para la selección del pavimento para el carril bici, de 3,25 m de ancho, se necesita un pavimento que cumpla con la función de ser antideslizante, pero además también debe de resistente a la abrasión. Por ello se ha elegido un pavimento formado por una capa de slurry de color rojo que también resiste bien las dilataciones térmicas. En este tipo de pavimentos se debe de tener en cuenta que puede haber problemas de durabilidad a causa de la falta de adherencia con el soporte.

La colocación constará de las siguientes fases.

- Limpieza de la superficie de hormigón del tablero para eliminar suciedades y regularizar la superficie de apoyo de la capa de slurry ya que está tiene muy poco espesor. Con todo ello se debe eliminar toda irregularidad superior a 3 mm gracias al lijado del hormigón.
- Aplicación de mortero bicomponente epoxi. Esta capa mejora la adherencia entre hormigón y el slurry, para así poder evitar el desconchamiento del slurry.
- Aplicación de la capa de slurry. El slurry se recibe en envases ya preparados, lo único que se debe de hacer es homogeneizar la mezcla introduciendo agua si así lo indica el fabricante y agitando el envase. El extendido se realiza con una banda de goma a razón de 1.5 kg/m<sup>2</sup> por capa, por lo que se debe de realizar en capas finas



Como se trata de un slurry con pigmentos rojizos se deberán aplicar varias capas hasta conseguir una superficie homogénea y así obtener un buen acabado. Para colocar varias capas se debe esperar entre 4 y 5 horas a 25°C a que la anterior capa fina de 1.5 kg/m<sup>2</sup> se haya secado.

Para poder aplicarse, la temperatura ambiente debe de estar comprendida entre 10°C y 30°C y debe aplicarse en condiciones de lluvia.

El slurry se almacenará en los envases de origen, cerrados y no se podrán utilizar si ha pasado más de un año desde que se ha abierto. Los envases se almacenarán en lugares protegidos de la luz del sol y de heladas.

Especificaciones técnicas del slurry:

- Viscosidad a 20º (Brookfield RVT, husillo nº6, 100 rpm) > 30 poises
- Abrasión Taber en seco (1000 ciclos, 1000 g, CS 16) < 0.25 g
- Abrasión Taber en húmedo (100 ciclos, 50 g, CS 17) < 8.0 g
- Abrasión NLTg320 < 225 g/m<sup>2</sup>

### 7.3. PAVIMENTO RAMPAS DE ACCESO LATERALES

Para realizar el pavimento de las rampas de acceso laterales a la pasarela se aplican los mismos pavimentos que se han utilizado en el tablero. Para la parte de peatones la resina epoxi y para el carril bici el slurry.



## 8. REFERENCIAS

Ministerio de Fomento (2016). Orden FOM/298/2016, por la que se aprueba la norma 5.2-IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras. [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/ordenfom\\_298\\_2016.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/ordenfom_298_2016.pdf).  
Accedido el 14 de junio de 2020.

Catálogo comercial a (2009). GLS. Prefabricados de hormigón. Productos. Drenaje de carreteras. <http://www.glsprefabricados.com/>.  
Accedido el 16 de junio de 2020.

Catálogo comercial b (2020). Philips. <https://www.lighting.philips.es/inicio>. Accedido el 16 de junio de 2020.

Catálogo comercial c (2015). RONSTAN. Todos los catálogos y folletos técnicos. <https://pdf.archiexpo.es/pdf/ronstan-5804.html>. Accedido el 17 de junio de 2020.

MONLEÓN CREMADES, S. (2019). Diseño estructural de puentes. Accedido 17 el de junio de 2020.

---

## *DOCUMENTO N.º 2: RELACIÓN VALORADA*

---

PRESENTADO POR: MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: VÍCTOR YEPES PIQUERAS

COTUTOR: JULIÁN ALCALÁ GONZÁLEZ

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

1. OBJETIVO.....	3
2. MEDICIONES.....	3
3. JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS.....	8
3.1. CAPÍTULO 1: ACTUACIONES PREVIAS .....	9
3.2. CAPÍTULO 2: MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	13
3.3. CAPÍTULO 3: EJECUCIÓN SUBESTRUCTURAS .....	17
3.4. CAPÍTULO 4: EJECUCIÓN DE SUPERESTRUCTURAS .....	33
3.5. CAPÍTULO 5: EQUIPAMIENTOS .....	47
3.6. CAPÍTULO 6: MANTENIMIENTO.....	63
3.7. CAPÍTULO 7: DEMOLICIÓN .....	71
4. RELACIÓN VALORADA .....	75
5. RESUMEN RELACIÓN VALORADA .....	81
6. CONCLUSIÓN .....	83
7. REFERENCIAS.....	83



## 1. OBJETIVO

El objeto de este documento es estimar el coste no solo de construcción sino también del coste del mantenimiento durante todo el ciclo de vida de la estructura y de su demolición al final del ciclo de vida. Por ello se ha realizado una relación valorada mediante los precios de las unidades de obra extraídos del banco de datos del ITEC que se denomina BEDEC.

Para la realización de este documento se ha dividido los apartados más complejos en capítulos para así facilitar un mejor entendimiento del documento.

En primer lugar, se han realizado mediciones de las unidades de obra consideradas para la ejecución, mantenimiento y demolición de la obra. Posteriormente, se ha elaborado una justificación de precios con todos los precios unitarios, y por último se ha calculado el coste total de cada capítulo y del total de la obra.

## 2. MEDICIONES

En este apartado se puede observar las mediciones de todas las unidades de obra a lo largo del ciclo de vida de la estructura, divididas en diferentes capítulos.

CAPITULO 01. ACTUACIONES PREVIAS								
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Repeticiones	Longitud	Area (m <sup>2</sup> )	Kg	TOTAL
01.01	m <sup>2</sup>	Limpieza y desbroce del terreno	Desbroce de terreno con desbrozadora autopropulsada trinchadora de 4,4 kW (6 CV) de potencia y con una anchura de trabajo de 0,6 a 1 m, para una altura de maleza hasta 40 cm y una pendiente inferior al 12 %, con un mínimo de dos pasadas de máquina, sin recoger la maleza	2		237,8		475,6
01.02	m <sup>3</sup>	Demolición de pasarela actual	Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camión mediante grúa autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km		125	1,2		186



CAPITULO 02. MOVIMIENTO DE TIERRAS								
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Repeticiones	Longitud	Area (m <sup>2</sup> )	Kg	TOTAL
02.01	m <sup>3</sup>	Excavación Encepado	Excavación a cielo abierto en terreno limoso arcilloso con medios mecánicos para ejecución de pasarela, incluso carga sobre camión transporte a acopio en obra para posterior utilización y descarga.	24	1	5,25		126
02.02	m <sup>3</sup>	Relleno encepado	Relleno con material procedente de excavación, en los huecos de la cimentación, incluso carga del acopio transporte interior de obra y vertido.	24	0,5	5,25		63





CAPITULO 03. EJECUCIÓN SUBESTRUCTURAS								
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Repeticiones	Longitud	Area (m <sup>2</sup> )	Kg	TOTAL
03.01	m <sup>3</sup>	Hormigón encepado	Hormigón para encepados, HA-30/P/20/IIIb+Qb, de consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm, vertido con cubilote	24	1	5,25		126
03.02	kg	Armadura encepado	Armadura para encepados AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.				8478	8478
03.03	m <sup>2</sup>	Encofrado encepado	Encofrado con tablero de madera de pino para encepados. Incluso transporte y montaje.	24		10		240
03.04	m <sup>3</sup>	Hormigón pilas	Hormigón para pilas, HA-30/B/20/IIIa, de consistencia blanda y tamaño máximo del árido 20 mm, colocado con bomba					105,08
03.05	kg	Armadura Pilas	Armadura para pilas AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso colocación y transporte				3900	3900
03.06	m <sup>2</sup>	Encofrado pilas	Encofrado con tablero de madera de pino para pilas. Incluso transporte y montaje.	4		44,96		180,96
03.07	m	Perforación pilotes	Perforación y hormigonado de pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos en terreno blando, de diámetro 55 cm con hormigón HA-30/L/10/IIa+Qb, con aditivo superplastificante, de consistencia líquida y tamaño máximo del árido 10 mm, con $\geq 375$ kg/m <sup>3</sup> de cemento, con el equipo de lodos incluido	48	14			672
03.08	kg	Armadura pilotes	Armado para pilotes AP 500 S de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 400$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.				10763,92	10763,92



CAPITULO 04. EJECUCIÓN SUPERESTRUCTURAS								
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Repeticiones	Longitud	Area (m <sup>2</sup> )	Kg	TOTAL
04.01	kg	Acero estructural	Acero S355JR según UNE-EN 10025-2, formado por pieza simple, en perfiles laminados en caliente serie L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular y plancha, trabajado en el taller para colocar con soldadura y con una capa de imprimación antioxidante				21573,2	21573,2
04.02	kg	Péndolas	Acero Y 1860 S7 en cordones para armadura activas de 7 alambres, carga unitaria máxima $\geq 1860$ N/mm <sup>2</sup> y 13 mm de diámetro nominal. Incluido anclajes y transporte y colocación.				113	113
04.03	kg	Acero chapa grecada	Losa de chapa grecada de acero S355JR. Incluso suministro y colocación				3064,3	3064,3
04.04	m <sup>3</sup>	Hormigonado tablero	Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm <sup>2</sup> , consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm, colocado con bomba		40	0,70		28,1
04.5	kg	Armadura tablero	Armadura para tablero AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso colocación y transporte				745,5	745,5
04.6	m <sup>2</sup>	Encofrado	Encofrado con tablero de madera de pino para tablero. Incluso transporte y montaje.			16		16
04.7	m <sup>2</sup>	Placas alveolares	Losa de placas alveolares de 30cm de canto prefabricadas de hormigón pretensado	2		576		1152



CAPITULO 05. EQUIPAMIENTOS								
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Repeticiones	Longitud	Area (m <sup>2</sup> )	Kg	TOTAL
05.01	m2	Pintura acero	Pintado de acero con pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero			301,8		301,8
05.02	m2	Pintura hormigón	Pintado de hormigón con pintura al silicato para protección superficial del hormigón			234,4		234,4
05.03	m	Barandilla	Barandilla de acero inoxidable austenítico con molibdeno de designación 1.4401 (AISI 316), con pasamano, travesaño inferior, montantes cada 100 cm y barrotes cada 12 cm, de 150 cm de altura, fijada mecánicamente en la obra con taco de acero, arandela y tuerca.		320			320
05.04	m	Caz de hormigón	Caz de hormigón prefabricado, incluso suministro del caz y transporte a lugar de empleo. Incluso transporte y colocación		80			80
05.05	m	Junta de dilatación	Formación de junta de dilatación exterior, en piezas hormigonadas 'in situ', con junta de PVC de 19 cm de ancho y de 3,5 mm de espesor		5,86			5,86
05.06	m	Hormigón imposta	Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm2, consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm. Incluso transporte y colocación		80			80
05.07	unidad	Iluminación	Iluminación rasante al tresbolillo	15				15
05.08	unidad	Aparato de Apoyo	Aparato de apoyo de neopreno zunchado standard, sustituible, totalmente colocado, incluso nivelación del apoyo con mortero especial de alta resistencia y autonivelante	4				4

CAPITULO 06. MANTENIMIENTO								
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Repeticiones	Longitud	Area (m <sup>2</sup> )	Kg	TOTAL
06.01	m2	Pintura acero	Pintado de acero con pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero			301,8		301,8
06.02	m2	Pintura hormigón	Pintado de hormigón con pintura al silicato para protección superficial del hormigón			234,4		234,4
06.03	kg	Mortero reparación	Mortero reparación para tablero y rampas				8438,4	8438,4
06.04	kg	Reparación de fisuras	Soldadura de reparación mediante grupo electrogeno de 20 a 30 KVA con equipos y elementos auxiliares para soldadura eléctrica				1042	1042



CAPITULO 07. DEMOLICIÓN								
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Repeticiones	Longitud	Area (m <sup>2</sup> )	Kg	TOTAL
07.01	m3	Demolición de hormigón	Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camión mediante grúa autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km					541
07.02	kg	Demolición de acero estructural	Demolición de estructura de acero estructural, con medios mecánicos. Carga de residuos en camión mediante grúa autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km				21400	21400

### 3. JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

En se puede observar la justificación de precios unitarios de todas las unidades de obra a lo largo del ciclo de vida de la estructura, divididas en diferentes capítulos, no se han tenido en cuenta los capítulos de seguridad y salud, control de calidad y protección ambiental porque se trata de una valoración no de un presupuesto contractual de un proyecto. Primero se podrá observar la formación de equipos de cada unidad de obra y después la tabla de justificación de precios.

Todos los datos están obtenidos a partir del banco de datos del ITEC que se denomina BEDEC.



### 3.1. CAPÍTULO 1: ACTUACIONES PREVIAS

m <sup>2</sup>	Limpieza y desbroce del terreno	<b>01.01</b>
Desbroce de terreno con desbrozadora autopropulsada trinchadora de 4,4 kW (6 CV) de potencia y con una anchura de trabajo de 0,6 a 1 m, para una altura de maleza hasta 40 cm y una pendiente inferior al 12 %, con un mínimo de dos pasadas de máquina, sin recoger la maleza		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Desbrozadora autopropulsada trinchadora, de 4,4KW (6CV) de potencia, con una anchura de trabajo de 0,6 a 1m	333,3
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Ayudante de jardinero	333,3



Precio unitario		Limpieza y desbroce del terreno			01.01	
m <sup>2</sup> Desbroce de terreno con desbrozadora autopropulsada trinchadora de 4,4 kW (6 CV) de potencia y con una anchura de trabajo de 0,6 a 1 m, para una altura de maleza hasta 40 cm y una pendiente inferior al 12 %, con un mínimo de dos pasadas de máquina, sin recoger la maleza						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0	
					0	
					0	
					0	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ001	0,003	horas	Desbrozadora autopropulsada trinchadora, de 4,4KW (6CV) de potencia, con una anchura de trabajo de 0,6 a 1m	21,91	0,06573	
					0	
					0	
					0,066	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO001	0,003	horas	Ayudante de jardinero	26,62	0,1	
					0	
					0	
					0,080	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,0012
SUMA DE COSTES DIRECTOS						0,15
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,01
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						0,16



ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA  
SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)



m <sup>3</sup>	Demolición de pasarela actual	01.02
Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camión mediante grúa autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
2	Grúa autopropulsada 30 t	1,39
2	Camión 24 t	1,39
1	Compresor con dos martillos neumaticos	2,78
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
1	Oficial 1a soldador	2,5
1	Peón	2,5
2	Peón especialista	1,39





Precio unitario		Demolición de pasarela actual				01.02	
m <sup>3</sup> Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camion mediante grua autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
							0
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,72	horas	Grúa autopropulsada 30 t	74,7	53,784		
MQ003	0,72	horas	Camión 24 t	53,99	38,9		
MQ004	0,36	horas	Compresor con dos martillos neumaticos	17,05	6,1		
							98,8
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO002	0,4	horas	Oficial 1a soldador	19,99	8,0		
MO003	0,4	horas	Peón	18,03	7,2		
MO004	0,72	horas	Peón especialista	18,51	13,3		
							28,5
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						2,5%	0,7
SUMA DE COSTES DIRECTOS							128,0
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	7,7
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							135,7



### 3.2. CAPÍTULO 2: MOVIMIENTO DE TIERRAS

m <sup>3</sup>	Excavación encepado	<b>02.01</b>
Excavación a cielo abierto en terreno limoso arcilloso con medios mecánicos para ejecución de pasarela, incluso carga sobre camión transporte a acopio en obra para posterior utilización y descarga.		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m <sup>3</sup> /h)
2	Retroexcavadora de tamaño medio	40,00
4	Camión de 7 t	20,00
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m <sup>3</sup> /h)



Precio unitario		Excavación encepado				02.01	
m <sup>3</sup> Excavación a cielo abierto en terreno limoso arcilloso con medios mecánicos para ejecución de pasarela, incluso carga sobre camión transporte a acopio en obra para posterior utilización y descarga.							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
						0	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ005	0,025	horas	Retroexcavadora de tamaño medio	51,15	1,27875		
MQ006	0,05	horas	Camión de 7 t	35,84	1,8		
					0,0		
						3,1	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
					0,0		
					0,0		
					0,0		
						0,0	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						0%	0,0
SUMA DE COSTES DIRECTOS							3,1
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	0,2
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							3,3



m <sup>3</sup>	Relleno encepado	<b>02.02</b>
m <sup>3</sup> Relleno con material proceden de excavación, en los huecos de la cimentación, incluso carga del acopio transporte interior de obra y vertido.		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
2	Retroexcavadora de tamaño medio	25,00
4	Camión de 7 t	20,00
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)



Precio unitario		Relleno encepado				02.02	
m <sup>3</sup> Relleno con material proceden de excavación, en los huecos de la cimentación, incluso carga del acopio transporte interior de obra y vertido.							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
						0	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ005	0,04	horas	Retroexcavadora de tamaño medio	51,15	2,046		
MQ006	0,05	horas	Camión de 7 t	35,84	1,8		
					0,0		
						3,8	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
		horas			0,0		
		horas			0,0		
		horas			0,0		
						0,0	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						0%	0,0
SUMA DE COSTES DIRECTOS							3,8
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	0,2
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							4,1



### 3.3. CAPÍTULO 3: EJECUCIÓN SUBESTRUCTURAS

m3	Hormigonado encepado	<b>03.01</b>
m3 Hormigón para encepados, HA-30/P/20/IIIb+Qb, de consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm, vertido con cubilote		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
2	Peón	1,25



Precio unitario		Hormigonado encepado				03.01	
m3 Hormigón para encepados, HA-30/P/20/IIIb+Qb, de consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm, vertido con cubilote							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT005	1,03	m3	Hormigón HA-30/P/20/IIIb	93,92	96,74		
					0		
					0		
						96,74	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
						0,0	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO006	0,8	horas	Peón	17,24	13,79		
					0		
					0		
						13,8	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,207	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						110,7	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	6,644	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						117,38	





kg	Armadura encepado	03.02
kg Armadura para encepados AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Grua autopropulsada	166,67
1	Camión de 7 t	166,67
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Oficial 1a ferrallista	166,7
1	Ayudante ferrallista	142,9



Precio unitario		Armadura encepado				03.02	
kg Armadura para encepados AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT003	0,0061	kg	Alambre recocido de diametro 1,3mm	1,22	0,0074		
MT004	1	kg	Acero en barras corrugadas manipulado en taller B500S	0,86427	0,86		
					0		
						0,8717	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,006	horas	Grua autopropulsada	65,56	0,39336		
MQ007	0,006	horas	Camión de 7 t	35,84	0,2		
					0,0		
						0,6	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO007	0,006	horas	Oficial 1a ferrallista	19,51	0,12		
MO008	0,007	horas	Ayudante ferrallista	18,18	0,13		
					0,0		
						0,2	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,004	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						1,7	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,104	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						1,83	



m2	Encofrado encepado	<b>03.03</b>
m2 Encofrado con tablero de madera de pino para encepados. Incluso transporte y montaje.		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Grúa autopropulsada	1,67
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Oficial 1a encofrador	1,67
1	Ayudante encofrador	1,82



Precio unitario		Encofrado encepado				03.03	
m2 Encofrado con tablero de madera de pino para encepados. Incluso transporte y montage.							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT006	0,102	kg	Alambre recocido de diametro 1,3mm	1,11	0,1132		
MT007	0,1501	kg	Clavo de acero	1,36	0,20		
MT008	2,9997	m	tablón de madera de pino para 10 usos	0,34	1,02		
MT009	0,0038	m3	Lata de madera de pino	252,49	0,96		
							2,2967
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,6	horas	Grúa autopropulsada	65,56	39,336		
					0,0		
					0,0		39,3
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO009	0,6	horas	Oficial 1a encofrador	19,51	11,71		
MO010	0,55	horas	Ayudante encofrador	18,18	10,00		
					0,0		21,7
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,326	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						63,7	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	3,820	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						67,48	



m3	Hormigonado pila	<b>03.04</b>
m3 Hormigón para pilas, HA-30/B/20/IIIa, de consistencia blanda y tamaño máximo del árido 20 mm, colocado con bomba		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
1	Camión con bomba de hormigonar	8
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
1	Peón	2,5



Precio unitario		Hormigonado pila			03.04		
m3 Hormigón para pilas, HA-30/B/20/IIIa, de consistencia blanda y tamaño máximo del árido 20 mm, colocado con bomba							
MATERIALES					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT010	1,02	m3	Hormigón HA-30/B/20/IIIa	77,55	79,10		
					0		
					0		
						79,10	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ008	0,125	horas	Camión con bomba de hormigonar	155,48	19,435		
					0		
					0		
						19,4	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO006	0,4	horas	Peón	17,24	6,90		
					0		
					0		
						6,9	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						2,5%	0,172
SUMA DE COSTES DIRECTOS							105,6
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	6,336
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							111,94



kg	Armadura pilas	<b>03.05</b>
kg Armadura para pilas AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso colocación y transporte		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Grua autopropulsada	142,86
1	Camión de 7 t	142,86
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Oficial 1a ferrallista	142,86
1	Ayudante ferrallista	142,86





Precio unitario		Armadura pilas			03.05		
kg Armadura para pilas AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso colocación y transporte							
MATERIALES					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT003	0,005	kg	Alambre recocido de diametro 1,3mm	1,22	0,0061		
MT004	1	kg	Acero en barras corrugadas manipulado en taller B500S	0,86427	0,86		
					0		
						0,8704	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,007	horas	Grua autopropulsada	65,56	0,45892		
MQ007	0,007	horas	Camión de 7 t	35,84	0,3		
					0,0		
						0,7	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO007	0,007	horas	Oficial 1a ferrallista	19,51	0,14		
MO008	0,007	horas	Ayudante ferrallista	18,18	0,13		
					0,0		
						0,3	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,004
SUMA DE COSTES DIRECTOS							1,8
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	0,111
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							1,96



m2	Encofrado pilas	03.06
m2 Encofrado con tablero de madera de pino para pilas. Incluso transporte y montaje.		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Grúa autopropulsada	1,67
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Oficial 1a encofrador	1,67
1	Ayudante encofrador	1,82



Precio unitario		Encofrado pilas				03.06	
m2 Encofrado con tablero de madera de pino para pilas. Incluso transporte y montage.							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT006	0,102	kg	Alambre recocido de diametro 1,3mm	1,11	0,1132		
MT007	0,1501	kg	Clavo de acero	1,36	0,20		
MT008	2,9997	m	tablón de madera de pino para 10 usos	0,34	1,02		
MT009	0,0038	m3	Lata de madera de pino	252,49	0,96		
							2,2967
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,6	horas	Grua autopropulsada	65,56	39,336		
					0,0		
					0,0		
						39,3	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO009	0,6	horas	Oficial 1a encofrador	19,51	11,71		
MO010	0,55	horas	Ayudante encofrador	18,18	10,00		
					0,0		
						21,7	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,326	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						63,7	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	3,820	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						67,48	



m	Perforación pilotes	<b>03.07</b>
m Perforación y hormigonado de pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos en terreno blando, de diámetro 55 cm con hormigón HA-30/L/10/IIa+Qb, con aditivo superplastificante, de consistencia líquida y tamaño máximo del árido 10 mm, con $\geq 375$ kg/m <sup>3</sup> de cemento, con el equipo de lodos incluido		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
1	Perforadora	4,00
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
1	Oficial	4
2	Peón	2



Precio unitario		Perforación pilotes			03.07	
m Perforación y hormigonado de pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos en terreno blando, de diámetro 55 cm con hormigón HA-30/L/10/IIa+Qb, con aditivo superplastificante, de consistencia líquida y tamaño máximo del árido 10 mm, con >= 375 kg/m3 de cemento, con el equipo de lodos incluido						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT001	0,2975	m3	Hormigón HA-30/L/10/IIa+Qb	101,49	30,193275	
MT002	7,42	kg	Lodo tixotrópico	0,16	1,1872	
					0	
						31,380475
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MQ007	0,25	m	Perforadora	227,4	56,85	
					0,0	
					0,0	
						56,9
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO005	0,25	m	Oficial	18,11	4,5	
MO006	0,5		Peón	17,24	8,6	
					0,0	
						13,1
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					0%	0,0
SUMA DE COSTES DIRECTOS						101,4
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	6,1
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						107,5



kg	Armadura pilotes	<b>03.08</b>
kg Armado para pilotes AP 500 S de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 400$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Grua autopropulsada	200
1	Camión de 7 t	200
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Oficial 1a ferrallista	200
1	Ayudante ferrallista	200



Precio unitario		Armadura pilotes			03.08		
kg Armado para pilotes AP 500 S de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 400$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.							
MATERIALES					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT003	0,006	kg	Alambre recocido de diametro 1,3mm	1,22	0,0073		
MT004	1	kg	Acero en barras corrugadas manipulado en taller B500S	0,86427	0,86		
					0		
						0,87159	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,005	horas	Grua autopropulsada	65,56	0,3278		
MQ007	0,005	horas	Camión de 7 t	35,84	0,2		
					0,0		
						0,5	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO007	0,005	horas	Oficial 1a ferrallista	19,51	0,10		
MO008	0,005	horas	Ayudante ferrallista	18,18	0,09		
					0,0		
						0,2	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,003
SUMA DE COSTES DIRECTOS							1,6
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	0,094
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							1,66





### 3.4. CAPÍTULO 4: EJECUCIÓN DE SUPERESTRUCTURAS

kg	Acero estructural	04.01
kg Acero S355JR según UNE-EN 10025-2, formado por pieza simple, en perfiles laminados en caliente serie L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular y plancha, trabajado en el taller para colocar con soldadura y con una capa de imprimación antioxidante		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
2	Grupo electrogeno auxiliar para soldadura eléctrica	71,43
1	Grupo electrogeno de 20 a 30 KVA	142,86
1	Grúa autopropulsada	142,86
1	Camión 24 t	142,86
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
2	Oficial 1a soldador	71,43
1	Ayudante soldador	125,00



Precio unitario		Acero estructural			04.01	
kg Acero S355JR según UNE-EN 10025-2, formado por pieza simple, en perfiles laminados en caliente serie L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular y plancha, trabajado en el taller para colocar con soldadura y con una capa de imprimación antioxidante						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT011	1	kg	Acero S355JR	1,35	1,3500	
					0,00	
					0	
						1,3500
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
MQ009	0,014	horas	Grupo electrogeno auxiliar para soldadura eléctrica	74,7	1,0458	
MQ010	0,007	horas	Grupo electrogeno de 20 a 30 KVA	49,95	0,3	
MQ002	0,007	horas	Grua autopropulsada	65,56	0,5	
MQ003	0,007	horas	Camión 24 t	54,99	0,4	
						2,2
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO011	0,014	horas	Oficial 1a soldador	19,95	0,28	
MO012	0,008	horas	Ayudante soldador	18,35	0,15	
					0,0	
						0,4
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,006
SUMA DE COSTES DIRECTOS						4,0
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,241
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						4,26



kg	Pendolas	04.02
kg Acero Y 1860 S7 en cordones para armadura activas de 7 alambres, carga unitaria máxima $\geq 1860$ N/mm <sup>2</sup> y 13 mm de diámetro nominal. Incluido anclages y transporte y colocación.		
Equipo		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Camión 7 t	125,00
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
2	Oficial	71,43
1	Peón	125,00



Precio unitario		Pendolas			04.02	
kg Acero Y 1860 S7 en cordones para armadura activas de 7 alambres, carga unitaria máxima >=1860 N/mm2 y 13 mm de diámetro nominal. Incluido anclages y transporte y colocación.						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT011	0,25	kg	Acero S355JR	1,35	0,3375	
MT012	1	kg	AceroY 1860 S7	0,78	0,78	
					0	
						1,1175
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
MQ001	0,008	horas	Camión 7 t	35,84	0,28672	
						0,3
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO005	0,014	horas	Oficial	19,51	0,27	
MO006	0,008	horas	Peón	18,18	0,15	
					0,0	
						0,4
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,006
SUMA DE COSTES DIRECTOS						1,8
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,110
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						1,94



kg	Chapa grecada	<b>04.03</b>
kg Losa de chapa grecada de acero S355JR. Incluso suministro y colocación		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Camión 7 t	125,00
1	Grua autopropulsada	125,00
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
2	Oficial	71,43
1	Peón	125,00



Precio unitario		Chapa grecada				04.03	
kg Losa de chapa grecada de acero S355JR. Incluso suministro y colocación							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT011	1,05	kg	Acero S355JR	1,35	1,4175		
					0		
					0		
							1,4175
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ007	0,008	horas	Camión 7 t	35,84	0,28672		
MQ002	0,008	horas	Grua autopropulsada	65,56	0,5		
							0,8
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO005	0,014	horas	Oficial	19,51	0,27		
MO006	0,008	horas	Peón	18,18	0,15		
					0,0		
							0,4
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,006
SUMA DE COSTES DIRECTOS							2,7
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	0,159
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							2,74



m3	Hormigonado tablero	<b>04.04</b>
m3 Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm <sup>2</sup> , consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm, colocado con bomba		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
1	Camión con bomba de hormigonar	8
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
1	Peón	2,5





Precio unitario		Hormigonado tablero			04.04	
m3 Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm <sup>2</sup> , consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm, colocado con bomba						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT013	1,02	m3	Hormigón no estructural	71,62	73,05	
					0	
					0	
						73,05
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
MQ008	0,125	horas	Camión con bomba de hormigonar	155,48	19,435	
					0	
					0	
						19,4
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO006	0,4	horas	Peón	17,24	6,90	
					0	
					0	
						6,9
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,172
SUMA DE COSTES DIRECTOS						99,6
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	5,973
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						105,53



kg	Armadura tablero	04.05
kg Armadura para tablero AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico $\geq 500$ N/mm <sup>2</sup> . Incluso colocación y transporte		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Grua autopropulsada	142,86
1	Camión de 7 t	142,86
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Oficial 1a ferrallista	142,86
1	Ayudante ferrallista	142,86



Precio unitario		Armadura tablero				04.05	
kg Armadura para tablero AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico >= 500 N/mm <sup>2</sup> . Incluso colocación y transporte							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT003	0,005	kg	Alambre recocido de diámetro 1,3mm	1,22	0,0061		
MT004	1	kg	Acero en barras corrugadas manipulado en taller B500S	0,86427	0,86		
					0		
							0,8704
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,007	horas	Grua autopropulsada	65,56	0,45892		
MQ007	0,007	horas	Camión de 7 t	35,84	0,3		
					0,0		
							0,7
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO007	0,007	horas	Oficial 1a ferrallista	19,51	0,14		
MO008	0,007	horas	Ayudante ferrallista	18,18	0,13		
					0,0		
							0,3
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,004
SUMA DE COSTES DIRECTOS							1,8
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	0,111
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							1,96



m2	Encofrado tablero	<b>04.06</b>
m2 Encofrado con tablero de madera de pino para tablero. Incluso transporte y montaje.		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Grúa autopropulsada	1,67
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Oficial 1a encofrador	1,67
1	Ayudante encofrador	1,82



Precio unitario		Encofrado tablero			04.06	
m2 Encofrado con tablero de madera de pino para tablero. Incluso transporte y montaje.						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT006	0,102	kg	Alambre recocido de diametro 1,3mm	1,11	0,1132	
MT007	0,1501	kg	Clavo de acero	1,36	0,20	
MT008	2,9997	m	tablón de madera de pino para 10 usos	0,34	1,02	
MT009	0,0038	m3	Lata de madera de pino	252,49	0,96	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
MQ002	0,6	horas	Grua autopropulsada	65,56	39,336	
					0	
					0	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO009	0,6	horas	Oficial 1a encofrador	19,51	11,71	
MO010	0,55	horas	Ayudante encofrador	18,18	10	
					0	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					2,5%	0,543
SUMA DE COSTES DIRECTOS						63,9
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	3,833
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						67,71



m2	Placas alveolares	<b>04.07</b>
m2 Losa de placas alveolares de 30cm de canto prefabricadas de hormigón pretensado		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Camión 24 t	5
1	Grua autopropulsada	5
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Peón	5
1	Oficial 1	2,5



Precio unitario		Placas alveolares			04.07	
m2 Losa de placas alveolares de 30cm de canto prefabricadas de hormigón pretensado						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT019	1	m	Placas alveolares	47,5	47,50	
					0	
					0	
					47,50	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
MQ002	0,2	horas	Camión 24 t	53,99	10,798	
MQ007	0,2	horas	Grua autopropulsada	65,56	13	
					0	
					23,9	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO006	0,2	horas	Peón	17,24	3,45	
MO005	0,4	horas	Oficial 1	19,51	8	
					0	
					11,3	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,169
SUMA DE COSTES DIRECTOS						82,8
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	4,970
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						87,80





3.5. CAPÍTULO 5: EQUIPAMIENTOS

m2	Pintura acero	05.01
m2 Pintado de acero con pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero		
Equipo		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Oficial 1a pintor	1,4
1	Ayudante pintor	14,3



Precio unitario		Pintura acero				05.01	
m2 Pintado de acero con pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT015	0,51	kg	Pintura epoxi bicomponente	8,08	4,12		
					0		
					0		
							4,12
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
							0,0
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO013	0,7	horas	Oficial 1a pintor	19,51	13,66		
MO014	0,07	horas	Ayudante pintor	18,18	1		
					0		
							14,9
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,224
SUMA DE COSTES DIRECTOS							19,3
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	1,156
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							20,43



m2	Pintura hormigón	<b>05.02</b>
m2 Pintado de hormigón con pintura al silicato para protección superficial del hormigón		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Oficial 1a pintor	2,2
1	Ayudante pintor	22,2



Precio unitario		Pintura hormigón			05.02	
m2 Pintado de hormigón con pintura al silicato para protección superficial del hormigón						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT0014	0,51	kg	Pintura al silicato	6,85	3,49	
					0	
					0	
						3,49
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
					0	
					0	
					0	
						0,0
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO013	0,45	horas	Oficial 1a pintor	19,51	8,78	
MO014	0,045	horas	Ayudante pintor	18,18	1	
					0	
						9,6
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,144
SUMA DE COSTES DIRECTOS						13,2
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,794
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						14,03



m	Barandilla	<b>05.03</b>
m Barandilla de acero inoxidable austenítico con molibdeno de designación 1.4401 (AISI 316), con pasamano, travesaño inferior, montantes cada 100 cm y barrotes cada 12 cm, de 150 cm de altura, fijada mecánicamente en la obra con taco de acero, arandela y tuerca.		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
2	Oficial 1a cerrajero	2,5
1	Ayudante cerrajero	5,0



Precio unitario		Barandilla			05.03		
m Barandilla de acero inoxidable austenítico con molibdeno de designación 1.4401 (AISI 316), con pasamano, travesaño inferior, montantes cada 100 cm y barrotes cada 12 cm, de 150 cm de altura, fijada mecánicamente en la obra con taco de acero, arandela y tuerca.							
MATERIALES					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT016	2	unidades	Taco de acero de 10 mm, con tornillo, arandela y tuerca	0,99	1,98		
MT017	1	m	Barandilla	282,7	283		
					0		
						284,68	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
						0,0	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO015	0,4	horas	Oficial 1a cerrajero	19,82	7,93		
MO016	0,2	horas	Ayudante cerrajero	18,25	3,7		
					0		
						11,6	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						2,5%	0,289
SUMA DE COSTES DIRECTOS							296,5
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	17,793
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							314,34



m	Caz de hormigón	<b>05.04</b>
m Caz de hormigón prefabricado, incluso suministro del caz y transporte a lugar de empleo. Incluso transporte y colocación		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
1	Camión 24 t	5
1	Grua autopropulsada	5
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
1	Peón	5
1	Oficial 1	2,5



Precio unitario		Caz de hormigón			05.04		
m Caz de hormigón prefabricado, incluso suministro del caz y transporte a lugar de empleo. Incluso transporte y colocación							
MATERIALES					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT019	1	m	Caz de hormigón	23,4	23,40		
					0		
					0		
						23,40	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,2	horas	Camión 24 t	53,99	10,798		
MQ007	0,2	horas	Grua autopropulsada	65,56	13		
					0		
						23,9	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)		
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO006	0,2	horas	Peón	17,24	3,45		
MO005	0,4	horas	Oficial 1	19,51	8		
					0		
						11,3	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,169
SUMA DE COSTES DIRECTOS							58,7
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	3,524
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							62,25





m	Junta de dilatación	05.05
m Formación de junta de dilatación exterior, en piezas hormigonadas 'in situ', con junta de PVC de 19 cm de ancho y de 3,5 mm de espesor		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
2	Oficial 1a encofrador	10,0
1	Ayudante encofrador	20,0



Precio unitario		Junta de dilatación			05.05	
m Formación de junta de dilatación exterior, en piezas hormigonadas 'in situ', con junta de PVC de 19 cm de ancho y de 3,5 mm de espesor						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MT018	1,08	m	Junta de dilatación	12,22	13,20	
					0	
					0	
						13,20
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
					0	
					0	
					0	
						0,0
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO009	0,1	horas	Oficial 1a encofrador	19,51	1,95	
MO010	0,05	horas	Ayudante encofrador	18,18	0,9	
					0	
						2,9
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					2,5%	0,072
SUMA DE COSTES DIRECTOS						16,1
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,968
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						17,10



m	Imposta	05.06
m Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm <sup>2</sup> , consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm. Incluso transporte y colocación		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
1	Camión 24 t	5
1	Grua autopropulsada	5
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m/h)
1	Peón	5
1	Oficial 1	2,5



Precio unitario		Imposta				05.06	
m Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm <sup>2</sup> , consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm. Incluso transporte y colocación							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT013	0,59	m3	Hormigón der uso no estructural	71,62	42,26		
					0		
					0		
						42,26	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ007	0,2	horas	Camión 24 t	53,99	10,798		
MQ002	0,2	horas	Grua autopropulsada	65,56	13		
					0		
						23,9	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO006	0,2	horas	Peón	17,24	3,45		
MO005	0,4	horas	Oficial 1	19,51	8		
					0		
						11,3	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,169	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						77,6	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	4,655
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						82,24	



unidad	Iluminación	05.07
unidad Iluminación rasante al tresbolillo		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (unidades/h)
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (unidades/h)
1	Peón	5
1	Oficial 1	2,5



Precio unitario		Iluminación				05.07	
unidad Iluminación rasante al tresbolillo							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT020	1	unidad	Foco rasante	230	230,00		
					0		
					0		
						230,00	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
						0,0	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO006	0,2	horas	Peón	17,24	3,45		
MO005	0,4	horas	Oficial 1	19,51	8		
					0		
						11,3	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,169	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						241,4	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	14,485	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						255,91	



unidades	Aparato de apoyo	05.08
unidad Aparato de apoyo de neopreno zunchado standard, sustituible, totalmente colocado, incluso nivelación del apoyo con mortero especial de alta resistencia y autonivelante		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (unidades/h)
1	Plataforma elevadora	3,3
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (unidades/h)
1	Peón	3,3
1	Oficial 1	1,7



Precio unitario		Aparato de apoyo				05.08	
unidad Aparato de apoyo de neopreno zunchado standard, sustituible, totalmente colocado, incluso nivelación del apoyo con mortero especial de alta resistencia y autonivelante							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT021	1	unidad	Aparato de apoyo	15,54	15,54		
					0		
					0		
						15,54	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ012	0,3	horas	Plataforma elevadora	39,44	12		
					0		
						11,8	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO005	0,3	horas	Peón	17,24	5,17		
MO006	0,6	horas	Oficial 1	19,51	12		
					0		
						16,9	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,253
SUMA DE COSTES DIRECTOS							44,5
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	2,670
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							47,17





3.6. CAPÍTULO 6: MANTENIMIENTO

m2	Pintura acero	06.01
m2 Pintado de acero con pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero		
Equipo		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Oficial 1a pintor	1,4
1	Ayudante pintor	14,3



Precio unitario		Pintura acero				06.01	
m2 Pintado de acero con pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT015	0,51	kg	Pintura epoxi bicomponente	8,08	4,12		
					0		
					0		
							4,12
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
							0,0
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO013	0,7	horas	Oficial 1a pintor	19,51	13,66		
MO014	0,07	horas	Ayudante pintor	18,18	1		
					0		
							14,9
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,224
SUMA DE COSTES DIRECTOS							19,3
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	1,156
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							20,43



m2	Pintura hormigón	<b>06.02</b>
m2 Pintado de hormigón con pintura al silicato para protección superficial del hormigón		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m2/h)
1	Oficial 1a pintor	2,2
1	Ayudante pintor	22,2



Precio unitario		Pintura hormigón				06.02	
m2 Pintado de hormigón con pintura al silicato para protección superficial del hormigón							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT0014	0,51	kg	Pintura al silicato	6,85	3,49		
					0		
					0		
							3,49
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
							0,0
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO013	0,45	horas	Oficial 1a pintor	19,51	8,78		
MO014	0,045	horas	Ayudante pintor	18,18	1		
					0		
							9,6
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES						1,5%	0,144
SUMA DE COSTES DIRECTOS							13,2
SUMA DE COSTES INDIRECTOS						6%	0,794
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL							14,03



kg	Mortero de reparación	<b>06.03</b>
kg Mortero reparación para tablero y rampas		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Camión mantenimiento	125
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Peón	125



Precio unitario		Mortero de reparación				06.03	
kg Mortero reparación para tablero y rampas							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT022	1	kg	Mortero	2,01	2,010		
					0,00		
					0		
						2,01	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ013	0,008	horas	Camión mantenimiento	33,52	0,27		
					0,0		
						0,3	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MQ006	0,008	horas	Peón	17,24	0,14		
					0,0		
						0,1	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,000	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						2,4	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,145	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						2,56	



kg	Reparación de fisuras	<b>06.04</b>
kg Soldadura de reparación mediante grupo electrogeno de 20 a 30 Kva con equipos y elementos auxiliares para soldadura eléctrica		
<b>Equipo</b>		
Maquinaria		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
2	Grupo electrogeno auxiliar para soldadura eléctrica	71,43
1	Grupo electrogeno de 20 a 30 KVA	142,86
1	Camión mantenimiento	142,86
Mano de obra		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
2	Oficial 1a soldador	71,43
1	Ayudante soldador	125,00



Precio unitario		Reparación de fisuras				06.04	
kg Soldadura de reparación mediante grupo electrogeno de 20 a 30 KvA con equipos y elementos auxiliares para soldadura eléctrica							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MT011	0,25	kg	Acero S355JR	1,35	0,3375		
					0,00		
					0		
						0,3375	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ009	0,014	horas	Grupo electrogeno auxiliar para soldadura eléctrica	74,7	1,0458		
MQ010	0,007	horas	Grupo electrogeno de 20 a 30 KVA	49,95	0,3		
MQ013	0,08	horas	Camión mantenimiento	33,52	2,7		
						4,1	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO011	0,014	horas	Oficial 1a soldador	19,95	0,28		
MO012	0,008	horas	Ayudante soldador	18,35	0,15		
					0,0		
						0,4	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					1,5%	0,006	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						4,8	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,291	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						5,14	





### 3.7. CAPÍTULO 7: DEMOLICIÓN

m <sup>3</sup>	Demolición de hormigón	07.01
Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camion mediante grua autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
2	Grúa autopropulsada 30 t	1,39
2	Camión 24 t	1,39
1	Compresor con dos martillos neumaticos	2,78
1	Equipo y elementos auxiliares de corte oxiacetilénico	2,78
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (m3/h)
1	Oficial 1a soldador	2,5
1	Peón	2,5
2	Peón especialista	1,39



Precio unitario		Demolición de hormigón				07.01	
m <sup>3</sup> Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camion mediante grua autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km							
MATERIALES						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
					0		
					0		
					0		
						0	
MAQUINARIA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL	
MQ002	0,72	horas	Grúa autopropulsada 30 t	74,7	53,784		
MQ003	0,72	horas	Camión 24 t	53,99	38,9		
MQ004	0,36	horas	Compresor con dos martillos neumaticos	17,05	6,1		
MQ014	0,36	horas	Equipo y elementos auxiliares de corte oxiacetilénico	10,82	3,9		
						102,7	
MANO DE OBRA						IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL	
MO002	0,4	horas	Oficial 1a soldador	19,99	8,0		
MO003	0,4	horas	Peón	18,03	7,2		
MO004	0,72	horas	Peón especialista	18,51	13,3		
						28,5	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					3%	0,7	
SUMA DE COSTES DIRECTOS						131,9	
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	7,9	
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						139,9	



kg	Demolición de pasarela actual	07.02
Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camión mediante grúa autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km		
<b>Equipo</b>		
<b>Maquinaria</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
0,0072	Grúa autopropulsada 30 t	138,89
0,0072	Camión 24 t	138,89
0,0036	Equipo y elementos auxiliares de corte oxiacetilénico	277,78
<b>Mano de obra</b>		
Cantidad	Definición	Rendimiento (kg/h)
1	Oficial 1a soldador	250
1	Peón	250
2	Peón especialista	138,89



Precio unitario		Demolición de acero estructural			07.02	
kg Demolición de estructura de acero estructural, con medios mecánicos. Carga de residuos en camion mediante grua autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km						
MATERIALES					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
					0	
					0	
					0	
					0	
MAQUINARIA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/horas)	PARCIAL	TOTAL
MQ002	0,0072	horas	Grúa autopropulsada 30 t	74,7	0,53784	
MQ003	0,0072	horas	Camión 24 t	53,99	0,388728	
MQ014	0,0036	horas	Equipo y elementos auxiliares de corte oxiacetilénico	10,82	0,0	
					1,0	
MANO DE OBRA					IMPORTE (€)	
CÓDIGO	Cantidad	UD	DEFINICIÓN	COSTES (€/UD)	PARCIAL	TOTAL
MO002	0,004	horas	Oficial 1a soldador	19,99	0,1	
MO003	0,004	horas	Peón	18,03	0,1	
MO004	0,0072	horas	Peón especialista	18,51	0,1	
					0,3	
HERRAMIENTAS Y MEDIOS AUXILIARES					3%	0,0
SUMA DE COSTES DIRECTOS						1,3
SUMA DE COSTES INDIRECTOS					6%	0,1
TOTAL PRECIO DE EJECUCIÓN MATERIAL						1,3



#### 4. RELACIÓN VALORADA

En este apartado se va a obtener el coste de todos los capítulos teniendo en cuenta el apartado de justificación de precios y el de mediciones.

CAPITULO 01. ACTUACIONES PREVIAS						
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
01.01	m <sup>2</sup>	Limpieza y desbroce del terreno	Desbroce de terreno con desbrozadora autopropulsada trinchadora de 4,4 kW (6 CV) de potencia y con una anchura de trabajo de 0,6 a 1 m, para una altura de maleza hasta 40 cm y una pendiente inferior al 12 %, con un mínimo de dos pasadas de máquina, sin recoger la maleza	475,6	0,16 €	76,10 €
01.02	m <sup>3</sup>	Demolición de pasarela actual	Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camión mediante grúa autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km	186	135,70 €	25.240,20 €



CAPITULO 02. MOVIMIENTO DE TIERRAS						
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Cantidad	Precio	Importe (€)
02.01	m <sup>3</sup>	Exacavación Encepado	Excavación a cielo abierto en terreno limoso arcilloso con medios mecánicos para ejecución de pasarela, incluso carga sobre camión transporte a acopio en obra para posterior utilización y descarga.	126	3,3	415,80 €
02.02	m <sup>3</sup>	Relleno encepado	Relleno con material procedente de excavación, en los huecos de la cimentación, incluso carga del acopio transporte interior de obra y vertido.	63	4,1	258,30 €



CAPITULO 03. EJECUCIÓN SUBESTRUCTURAS						
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Cantidad	Precio	Importe (€)
03.01	m <sup>3</sup>	Hormigón encepado	Hormigón para encepados, HA-30/P/20/IIIb+Qb, de consistencia plástica y tamaño máximo del árido 20 mm, vertido con cubilote	126	117,38	14.789,88 €
03.02	kg	Armadura encepado	Armadura para encepados AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico >= 500 N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.	8478	1,83	15.514,74 €
03.03	m <sup>2</sup>	Encofrado encepado	Encofrado con tablero de madera de pino para encepados. Incluso transporte y montage.	240	67,48	16.195,20 €
03.04	m <sup>3</sup>	Hormigón pilas	Hormigón para pilas, HA-30/B/20/IIIa, de consistencia blanda y tamaño máximo del árido 20 mm, colocado con bomba	105,08	111,94	11.762,66 €
03.05	kg	Armadura Pilas	Armadura para pilas AP500 S en barras de diámetro como máximo 16 mm, de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico >= 500 N/mm <sup>2</sup> . Incluso colocación y transporte	3900	1,96	7.644,00 €
03.06	m <sup>2</sup>	Encofrado pilas	Encofrado con tablero de madera de pino para pilas. Incluso transporte y montage.	180,956	67,48	12.210,91 €
03.07	m	Perforación pilotes	Perforación y hormigonado de pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos en terreno blando, de diámetro 55 cm con hormigón HA-30/L/10/IIa+Qb, con aditivo superplastificante, de consistencia líquida y tamaño máximo del árido 10 mm, con >= 375 kg/m <sup>3</sup> de cemento, con el equipo de lodos incluido	672	107,5	72.240,00 €
03.08	kg	Armadura pilotes	Armado para pilotes AP 500 S de acero en barras corrugadas B500S de límite elástico >= 400 N/mm <sup>2</sup> . Incluso transporte y colocación.	10763,92	1,66	17.868,11 €



CAPITULO 04. EJECUCIÓN SUPERESTRUCTURAS						
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Cantidad	Precio	Importe (€)
04.01	kg	Acero estructural	Acero S355JR según UNE-EN 10025-2, paravigas formadas por piezas simples, en perfiles laminados en caliente, trabajado en taller y con una capa de imprimación	21573,2	4,26	91.901,75 €
04.02	kg	Péndolas	Acero Y 1860 S3 en cordones para armadura activa de 7 alambres, carga unitaria máxima $\geq 1860$ N/mm <sup>2</sup> y 6,5mm de diametro nominal	113,0	1,94	219,24 €
04.03	kg	Acero chapa grecada	Losa de chapa grecada no colaborante	3064,3	2,74	8.396,09 €
04.04	m3	Hormigonado tablero	Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm <sup>2</sup> , consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm	28,1	105,53	2.966,72 €
04.5	kg	Armadura tablero	Acero en barras corrugadas B 500 S colocado en armaduras pasivas, incluso el corte y doblado, colocación, solapes, despuntes y p.p. de atado con alambre y separadores. Para apoyos	745,5	1,96	1.461,19 €
04.6	m2	Encofrado	Montaje y desmontaje de encofrado con tablero de madera de pino	16	67,71	1.083,36 €
04.7	m2	Placas alveolares	Losa de placas alveolares de 30cm de canto prefabricadas de hormigón pretensado	1152,0	87,8	101.145,60 €





CAPITULO 05. EQUIPAMIENTOS						
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Cantidad	Precio	Importe (€)
05.01	m2	Pintura acero	Pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero	301,8	20,43	6.165,77 €
05.02	m2	Pintura hormigón	Pintura al silicato para protección superficial del hormigón	234,4	14,03	3.288,63 €
05.03	m	Barandilla	Montaje de barandilla de acero inoxidable con montantes y barrotes a 2,5m de separación, de 150 cm de altura. Accesos	320	314,34	100.588,80 €
05.04	m	Caz de hormigón	Caz de hormigón prefabricado, incluso suministro del caz y transporte a lugar de empleo	80	62,25	4.980,00 €
05.05	m	Junta de dilatación	Junta de dilatación para tablero de entre 5 y 15 mm de movimiento máximo, tipo rótula plasto-elástica, totalmente colocada, incluso p.p. de operaciones de corte y demolición, perforaciones, resina epoxi, pernos, anclajes químicos y selladores	5,86	17,1	100,21 €
05.06	m	Hormigón imposta	Hormigón de uso no estructural de resistencia a compresión 15 N/mm <sup>2</sup> , consistencia fluida y tamaño máximo de arido 10mm	80	82,24	6.579,20 €
05.07	unidad	Iluminación	Iluminación rasante al tresbolillo	15	255,91	3.838,65 €
05.08	unidad	Aparato de Apoyo	Aparato de apoyo de neopreno zunchado standard, sustituible, totalmente colocado, incluso nivelación del apoyo con mortero especial de alta resistencia y autonivelante	4	47,17	188,68 €



CAPITULO 06. MANTENIMIENTO						
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Cantidad	Precio	Importe (€)
06.01	m2	Materiales para el mantenimiento	Pintura epoxi bicomponente para sistemas de protección del acero	301,8	20,43	6.165,77 €
06.02	m2	Pintura hormigón	Pintura al silicato para protección superficial del hormigón	234,4	14,03	3.288,63 €
06.03	kg	Mortero reparación	Mortero reparación para tablero y rampas	8438,4	2,56	21.602,30 €
06.04	kg	Soldadura reparación	Soldadura de reparación mediante grupo electrogeno de 20 a 30 KvA con equipos y elementos auxiliares para soldadura eléctrica	1042,0	5,14	5.355,88 €

CAPITULO 07. DEMOLICIÓN						
Código	Unidad	Unidad de obra	Descripción	Cantidad	Precio	Importe (€)
07.01	m3	Demolición de hormigón	Demolición de estructura de hormigón armado, con medios mecánicos. Carga de residuos en camion mediante grua autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km	541,1	139,9	75.702,69 €
07.02	kg	Demolición de acero estructural	Demolición de estructura de acero estructural, con medios mecánicos. Carga de residuos en camion mediante grua autopropulsada de 30 toneladas. Incluso transporte a vertedero a una distancia inferior a 50 km	21000,0	1,3	27.300,00 €



## 5. RESUMEN RELACIÓN VALORADA

A continuación, se muestra un resumen de la relación valorada, con unos porcentajes de la representación de cada capítulo sobre el total.

<b>Presupuesto de Producción y Construcción del Bowstring</b>			
Código	Capítulo	Importe	%
01.	ACTUACIONES PREVIAS	25.316,30 €	3,80
02.	MOVIMIENTO DE TIERRAS	674,10 €	0,10
03.	EJECUCIÓN SUBESTRUCTURAS	168.225,49 €	25,24
04.	EJECUCIÓN SUPERESTRUCTURAS	207.173,94 €	31,08
05.	EQUIPAMIENTOS	125.729,94 €	18,86
<b>Presupuesto TOTAL de Producción y Construcción</b>		<b>527.119,77 €</b>	
<b>Presupuesto de Mantenimiento y Demolición del Bowstring</b>			
Código	Capítulo	Importe	%
06.	MANTENIMIENTO	36.412,59 €	5,46
07.	DEMOLICIÓN	103.002,69 €	15,45
<b>Presupuesto TOTAL de Mantenimiento y Construcción</b>		<b>139.415,28 €</b>	



Cálculo del Presupuesto Base de Licitación teniendo en cuenta todo el ciclo de vida de la estructura, suponiendo como datos orientativos unos Gastos Generales del 15% y un Beneficio Industrial del 6%:

<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN 100 AÑOS</b>	
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)</b>	<b>666.535,05 €</b>
GASTOS GENERALES (15% del PEM)	99.980,26 €
BENEFICIO INDUSTRIAL (6% del PEM)	39.992,10 €
<b>VALOR ESTIMADO</b>	<b>806.507,41 €</b>
IVA(21% del TOTAL)	169.366,56 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>	<b>975.873,96 €</b>

El Presupuesto Base de Licitación asciende durante el ciclo de vida completo de 100 años de la Alternativa 4: Arco atirantado (*Bowstring*) a la cantidad de 975.873,96 €, es decir, NOVECIENTOS SETENTA Y CINCO MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y TRES EUROS CON NOVENTA Y SEIS CENTIMOS.

Firma: Miguel de Fuenmayor Icardo

Fecha: julio 2020





## 6. CONCLUSIÓN

En este documento se realizado todos los pasos necesarios para obtener la Presupuesto Base de Licitación contando también con el coste del mantenimiento y de la demolición al final del ciclo de vida. Esto se ha hecho así para observar la importancia que tienen estas fases durante el ciclo de vida, ya que conforman el 25% del coste de ejecución material total.

Por lo que se concluye de la importancia no solo de tener en cuenta la fase de uso y mantenimiento para obtener el presupuesto de una obra sino también la demolición de esta estructura al final de su vida útil, es decir hay que tener en cuenta todo el ciclo de vida de una estructura.

## 7. REFERENCIAS

Instituto Tecnológico de la Construcción (ITeC). (2020). Banco de precios BEDEC <https://metabase.itec.cat/vid/e/es/bedec>. Accedido el 15 de junio de 2020.

---

## *DOCUMENTO N.º 3: PLANOS*

---

PRESENTADO POR: MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR: VÍCTOR YEPES PIQUERAS

COTUTOR: JULIÁN ALCALÁ GONZÁLEZ

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA





## ÍNDICE

Plano Nº 1: Situación y emplazamiento

Plano Nº 2: Planta y alzado general proyecto base

Plano Nº 3: Alzado alternativa 1

Plano Nº 4: Alzado alternativa 2

Plano Nº 5: Alzado alternativa 3

Plano Nº 6: Alzado alternativa 4

Plano Nº 7: Sección transversal alternativa 1

Plano Nº 8: Sección transversal alternativa 2

Plano Nº 9: Sección transversal alternativa 3

Plano Nº 10: Sección transversal alternativa 4

Plano Nº 11: Planta alternativa 1

Plano Nº 12: Planta alternativa 2

Plano Nº 13: Planta alternativa 3

Plano Nº 14: Planta alternativa 4

Plano Nº 15: Tipología de pilas

Plano Nº 16: Perfilería alternativa 1

Plano Nº 17: Perfilería alternativa 2

Plano Nº 18: Perfilería alternativa 4

Plano Nº 19: Armado losa alternativa 3

Plano Nº 20: Armado muro alternativa 3

Plano Nº 21: Geometría solución final

Plano Nº 22: Rampa margen oeste

Plano Nº 23: Rampa margen este

Plano Nº 24: Equipamientos



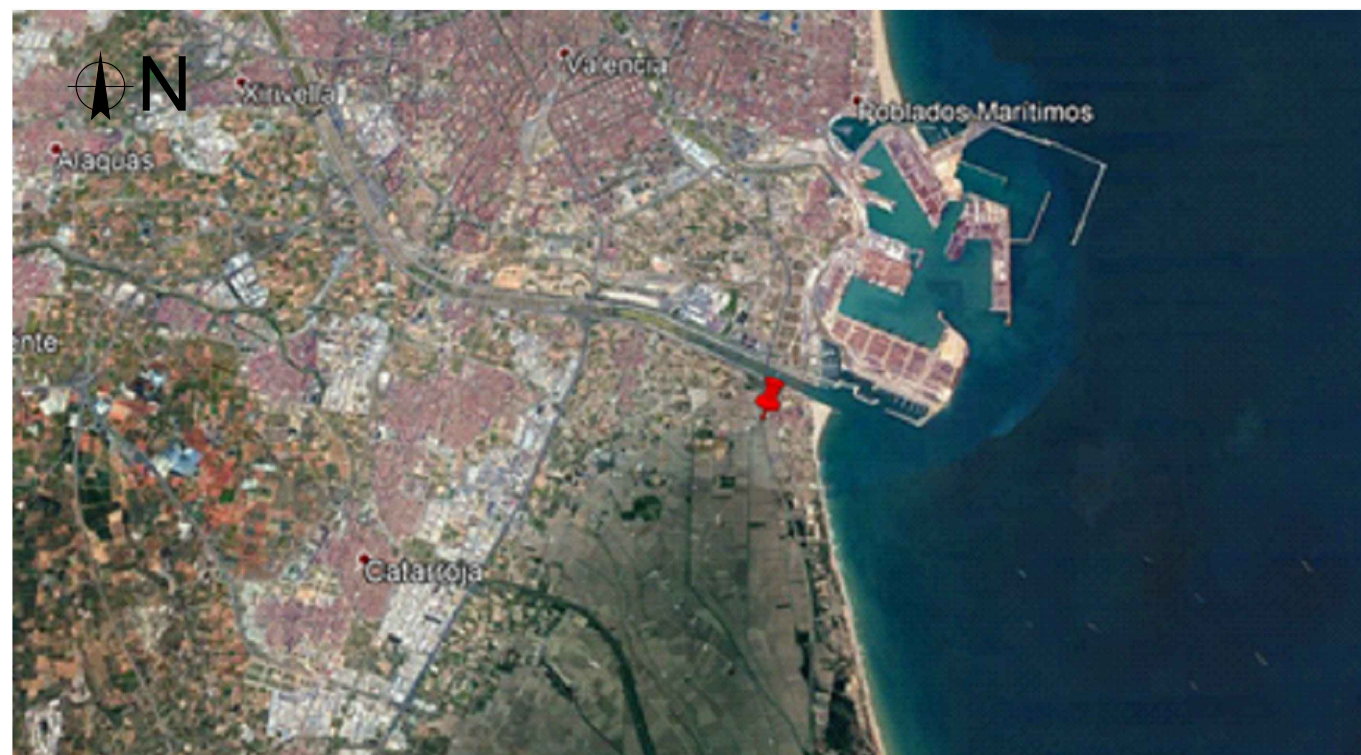
SITUACIÓN  
Escala 1:500.000



EMPLAZAMIENTO  
Escala 1:10.000



SITUACIÓN  
Escala 1:100.000

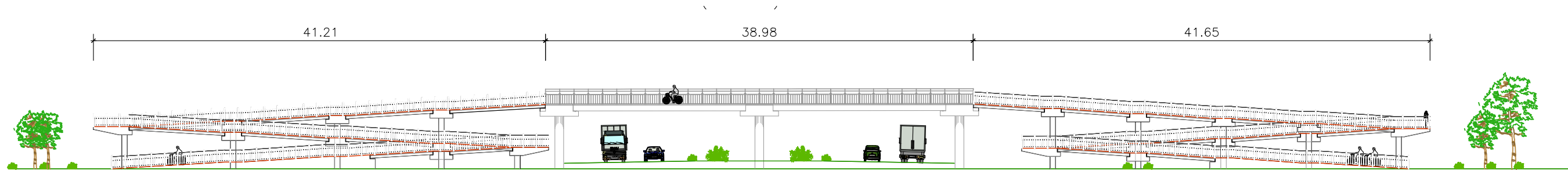


EMPLAZAMIENTO  
Escala 1:2.000

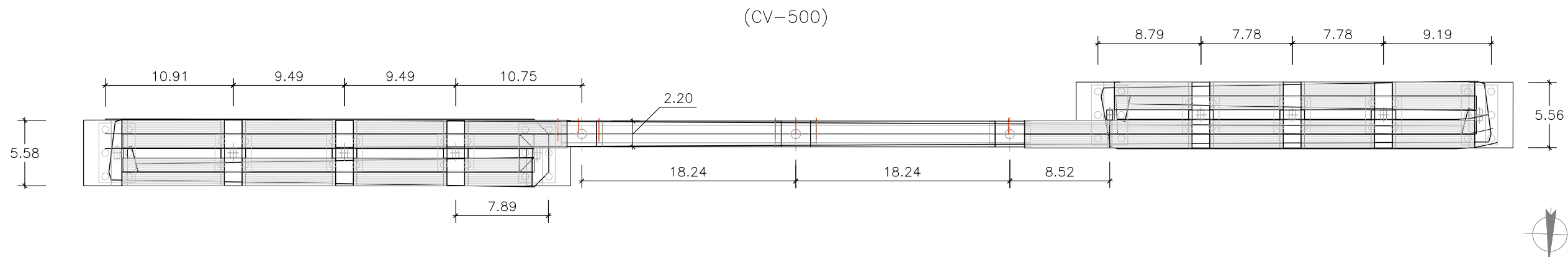




ALZADO PASARELA  
Escala 1:400

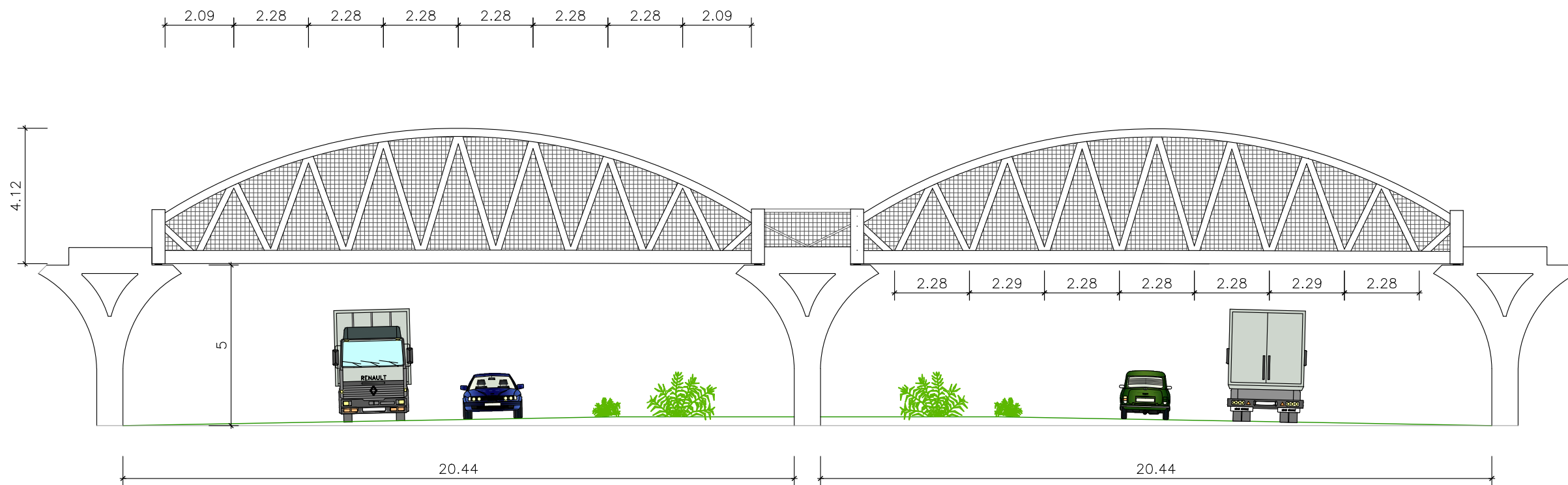


PLANTA PASARELA  
Escala 1:400



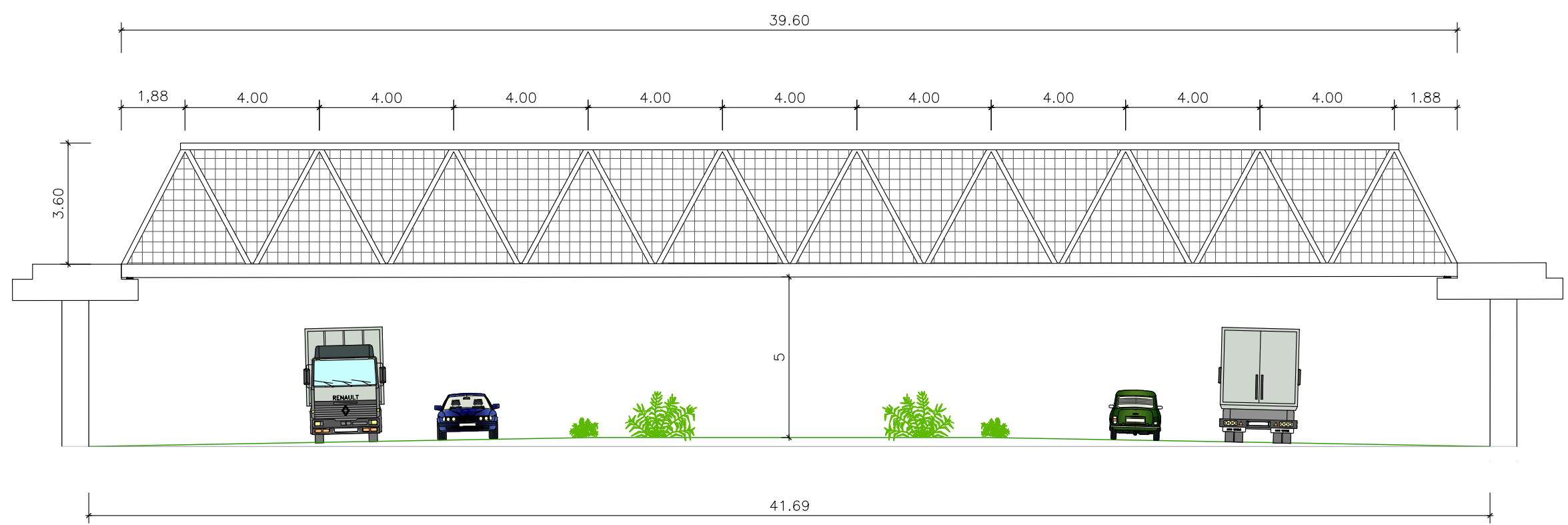
Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barras alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

ALZADO ALTERNATIVA 1  
Escala 1:150



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barras alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

ALZADO ALTERNATIVA 2  
Escala 1:150



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barras alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

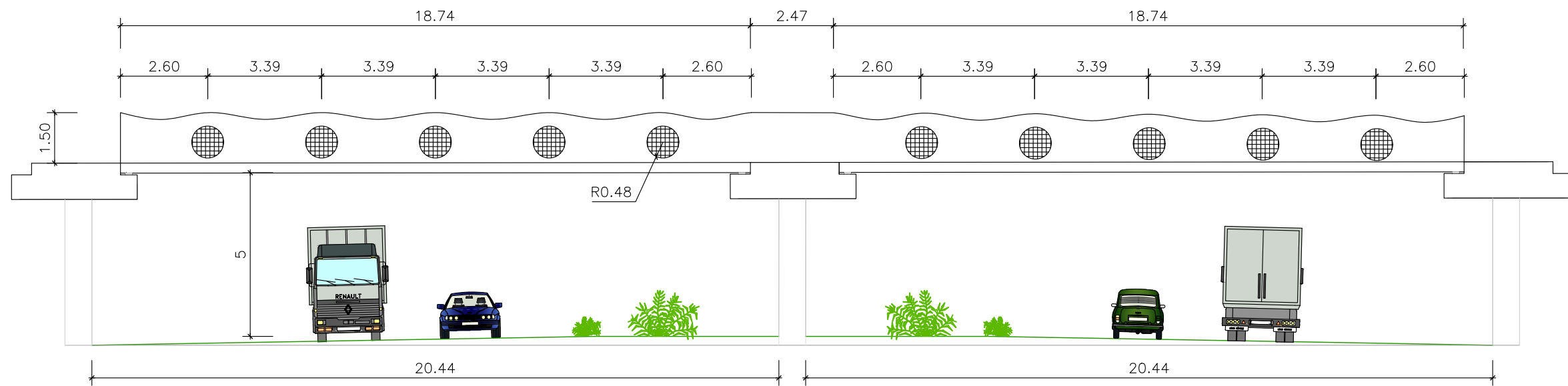
ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

ALZADO ALTERNATIVA 2

Escala:  
INDICADAS

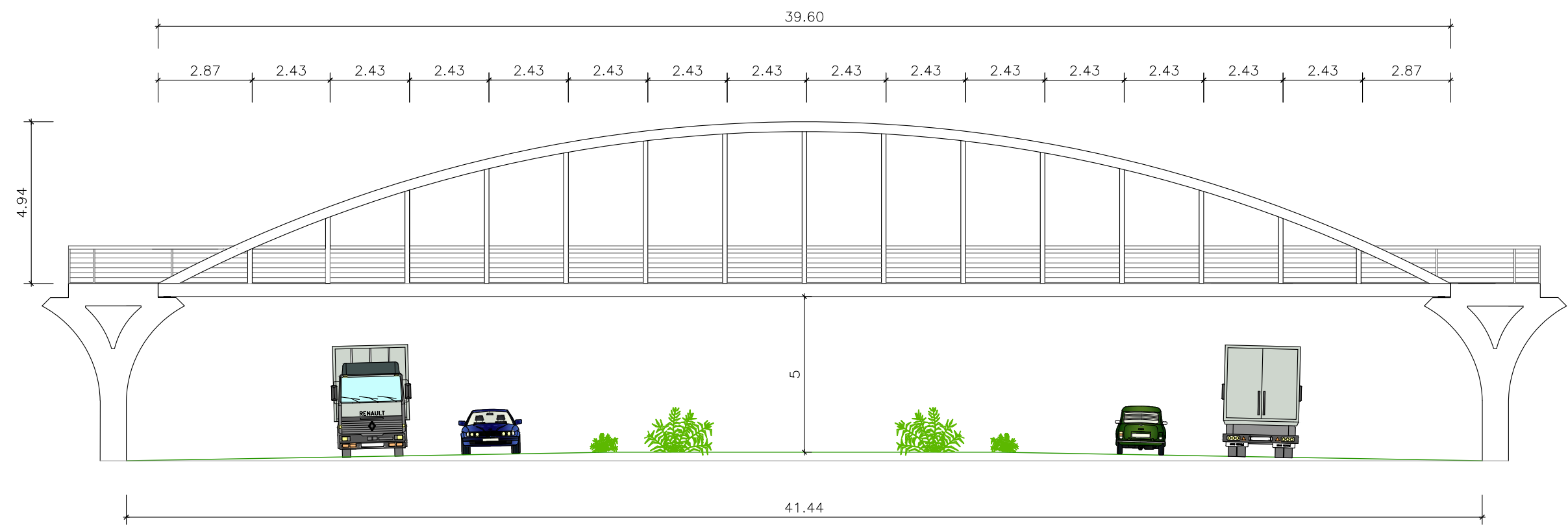
Plano nº:  
4

ALZADO ALTERNATIVA 3  
Escala 1:150



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

ALZADO ALTERNATIVA 4  
Escala 1:150



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

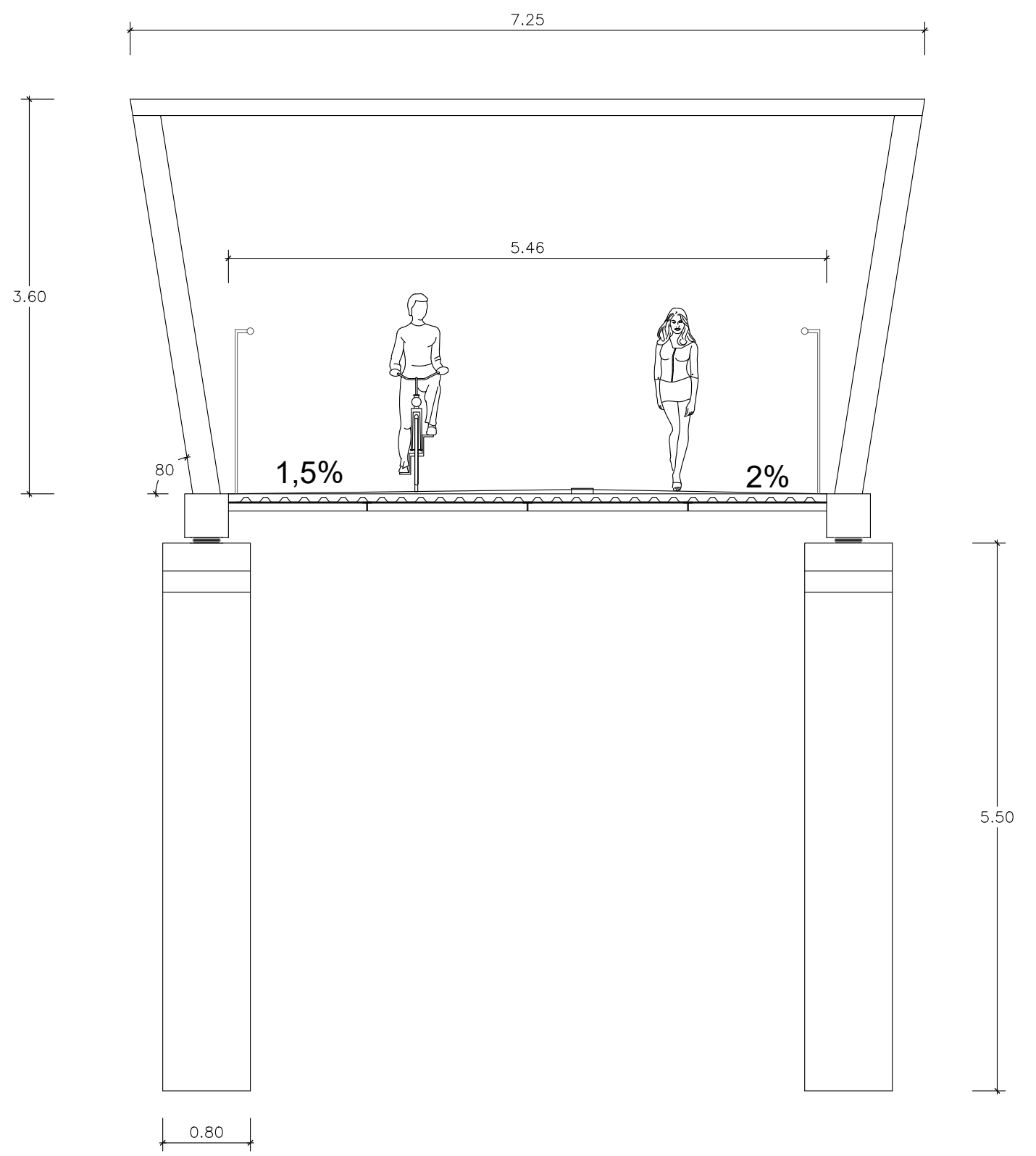
ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

ALZADO ALTERNATIVA 4

Escala:  
INDICADAS

Plano nº:  
6

SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNATIVA 1  
Escala 1:50



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

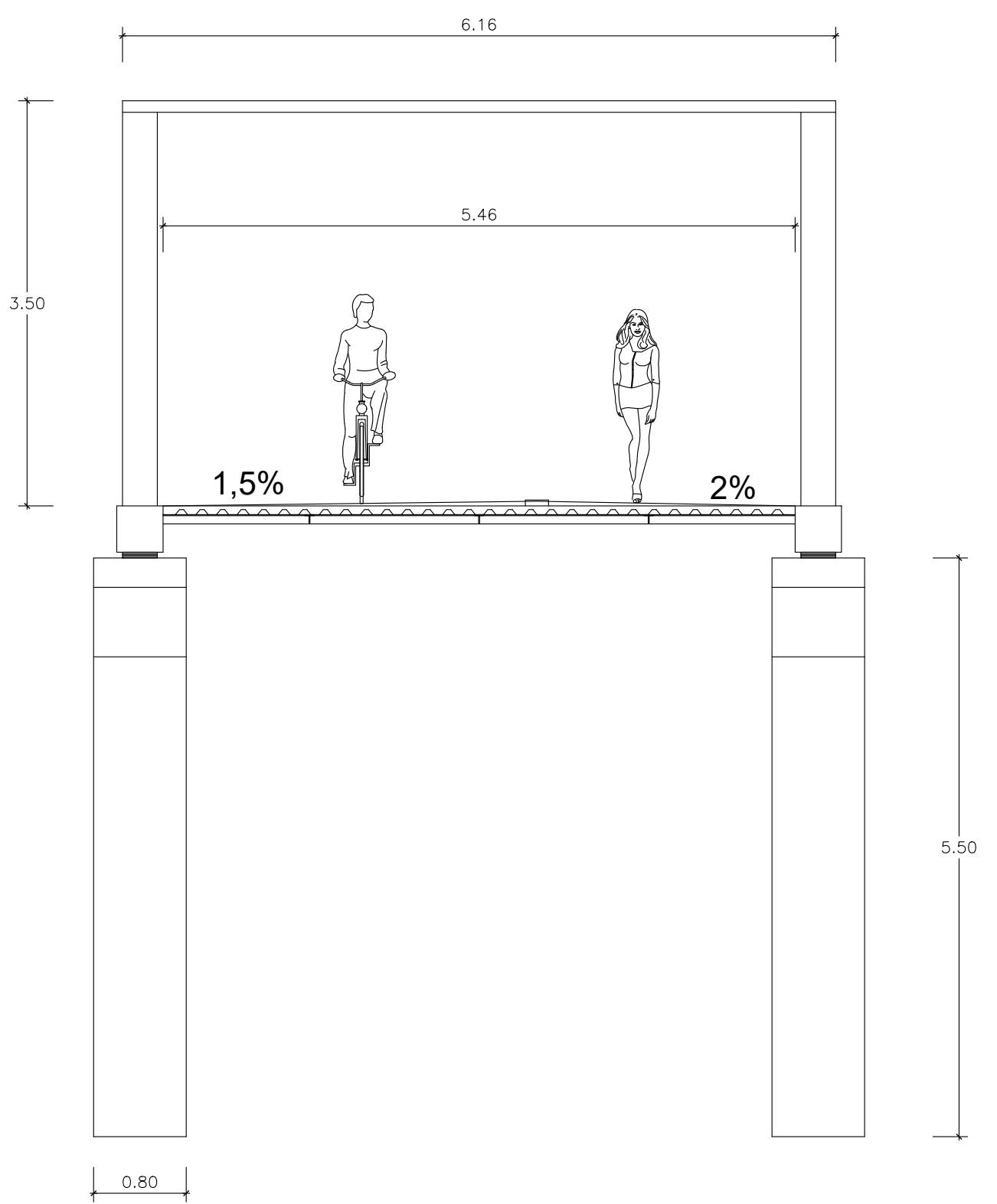
SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNATIVA 1  
INDICADAS

Escala:  
INDICADAS  
Plano nº: 7

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

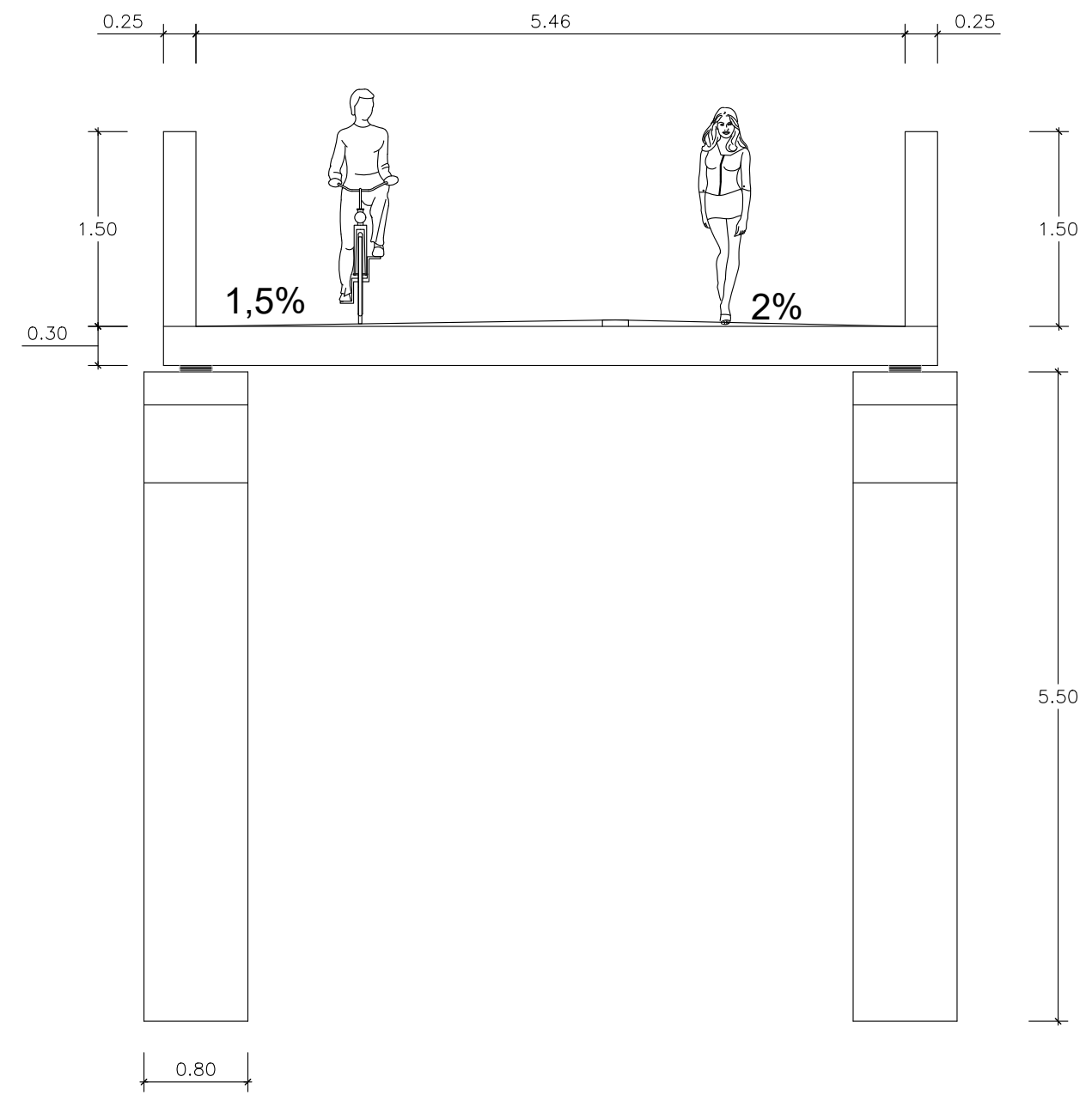
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNATIVA 2  
Escala 1:50



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNATIVA 3  
Escala 1:50



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNATIVA 3

Escala:  
INDICADAS

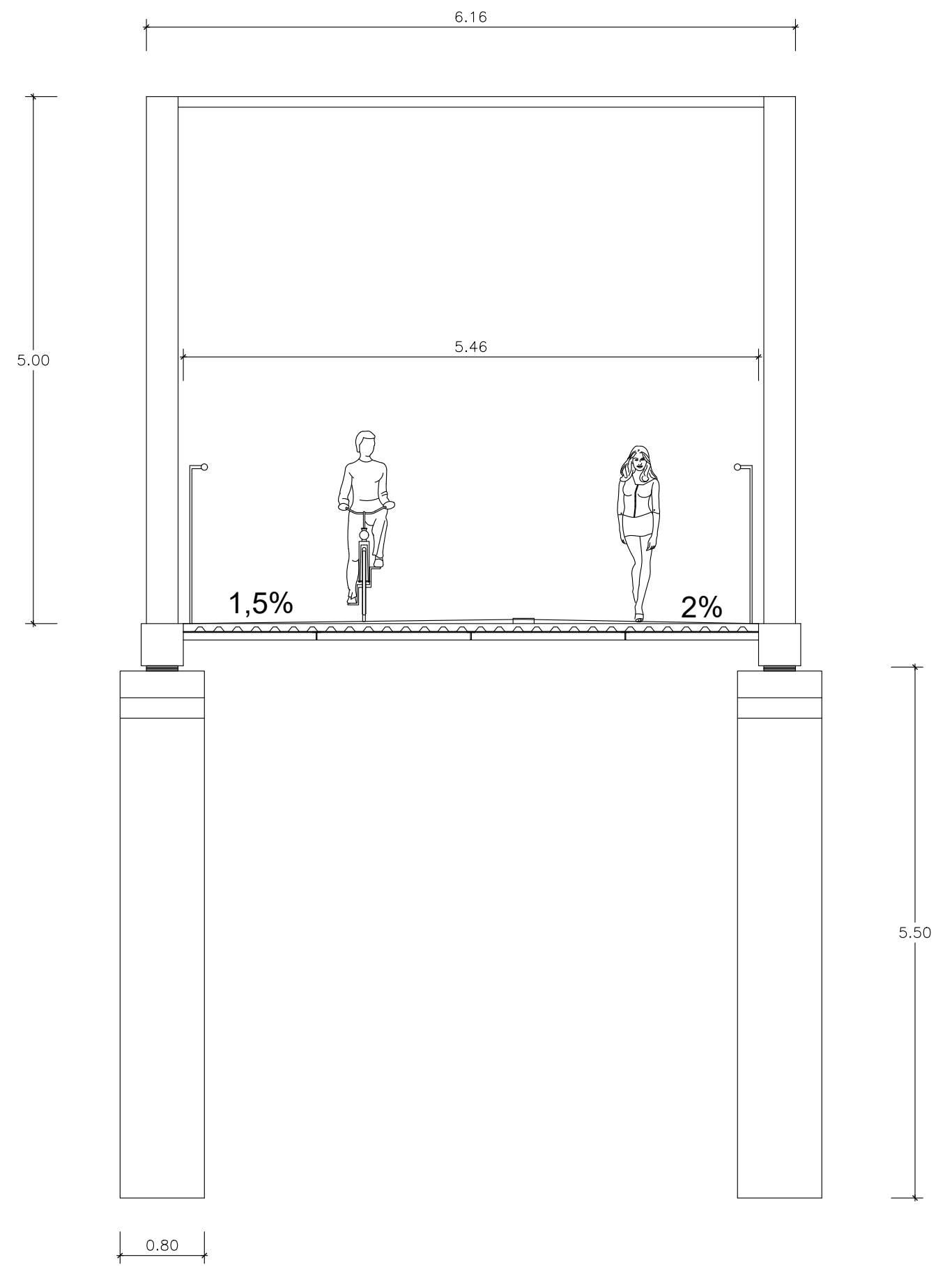
Plano nº:  
9

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

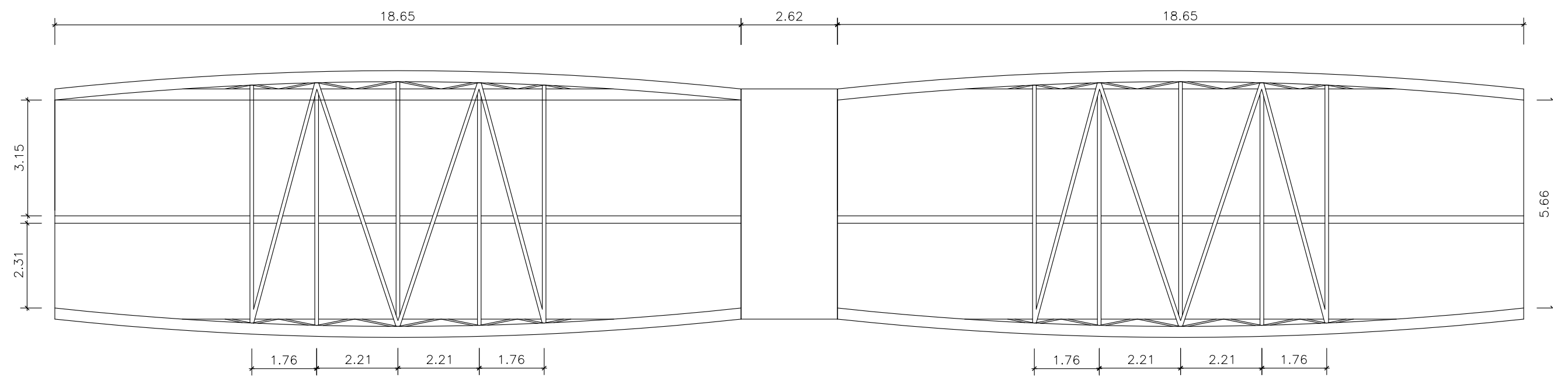
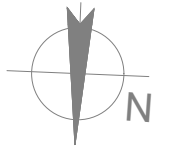


SECCIÓN TRANSVERSAL ALTERNATIVA 4  
Escala 1:50



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

PLANTA ALTERNATIVA 1  
Escala 1:120



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO  
*[Signature]*

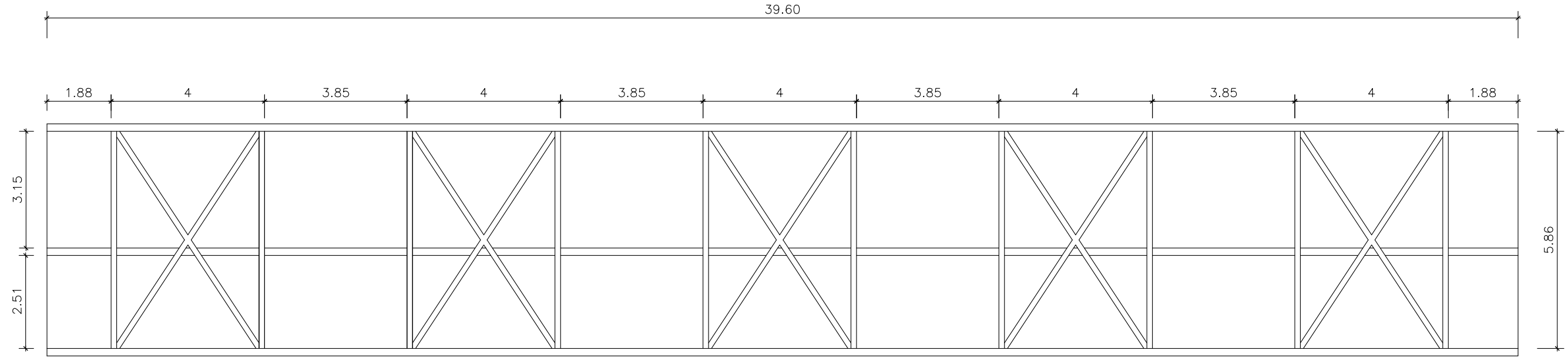
ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

PLANTA ALTERNATIVA 1

Escala:  
INDICADAS

Plano nº:  
11

PLANTA ALTERNATIVA 2  
Escala 1:120



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

PLANTA ALTERNATIVA 2

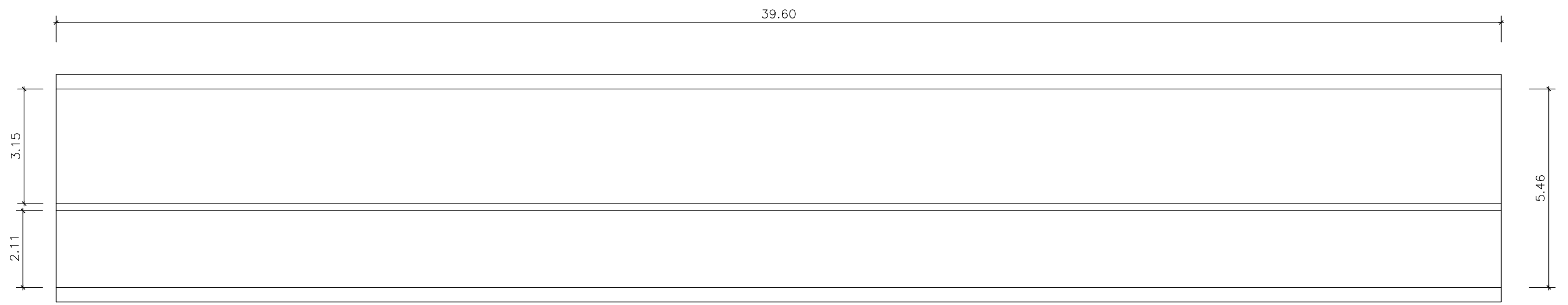
Escala:  
INDICADAS

Plano nº:  
12

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

PLANTA ALTERNATIVA 3  
Escala 1:120



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO  
*[Signature]*

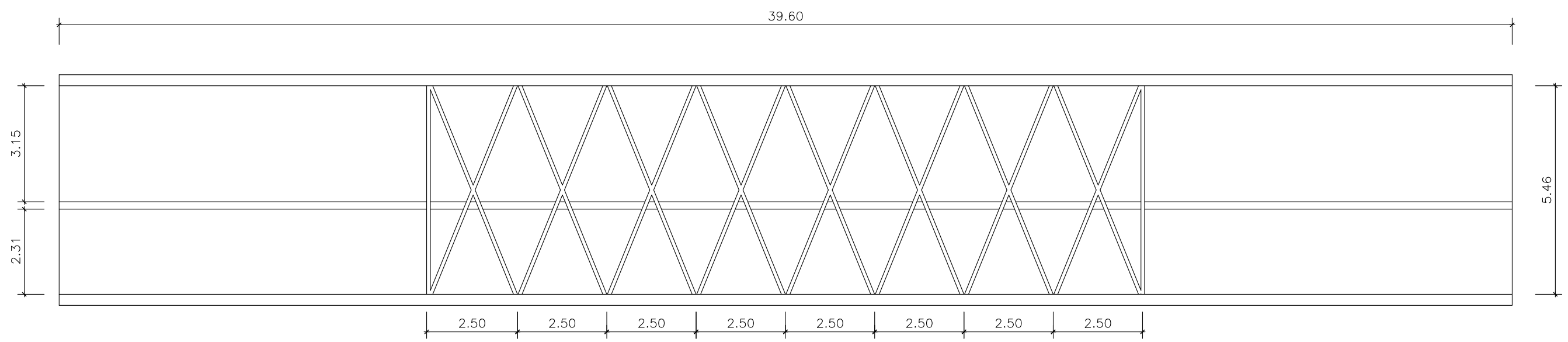
ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

PLANTA ALTERNATIVA 3

Escala:  
INDICADAS

Plano nº:  
13

PLANTA ALTERNATIVA 4  
Escala 1:120



Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Autor:  
MIGUEL DE FUENMAYOR ICARDO

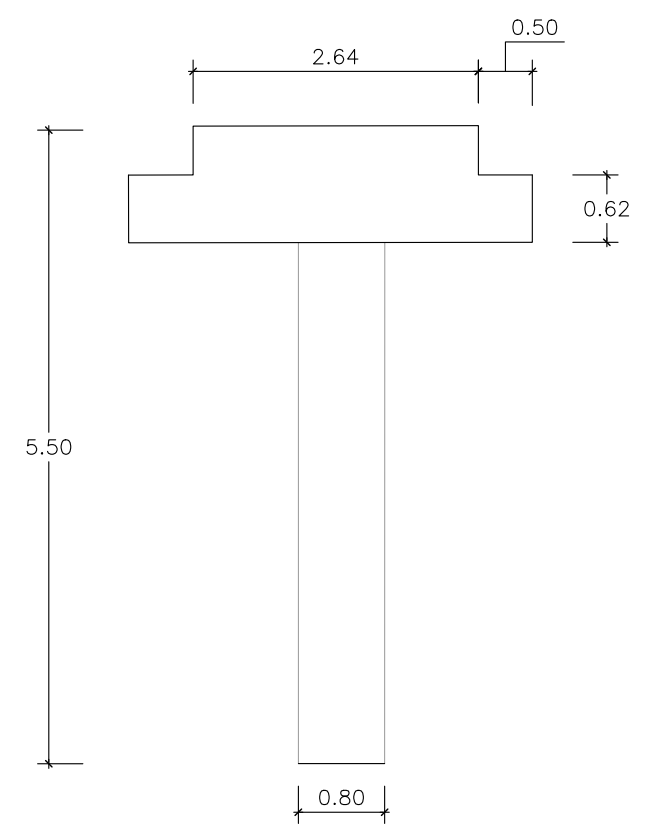
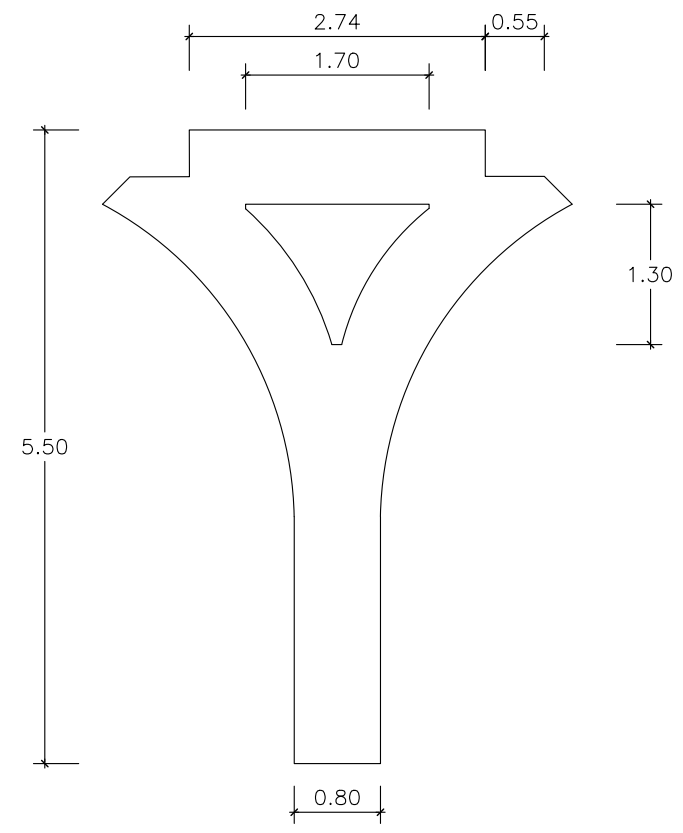
ESTUDIO ESTRUCTURAL Y JUSTIFICACIÓN RESISTENTE DE PASARELA SOBRE LA CARRETERA CV-500 EN PINEDO (VALENCIA)

PLANTA ALTERNATIVA 4

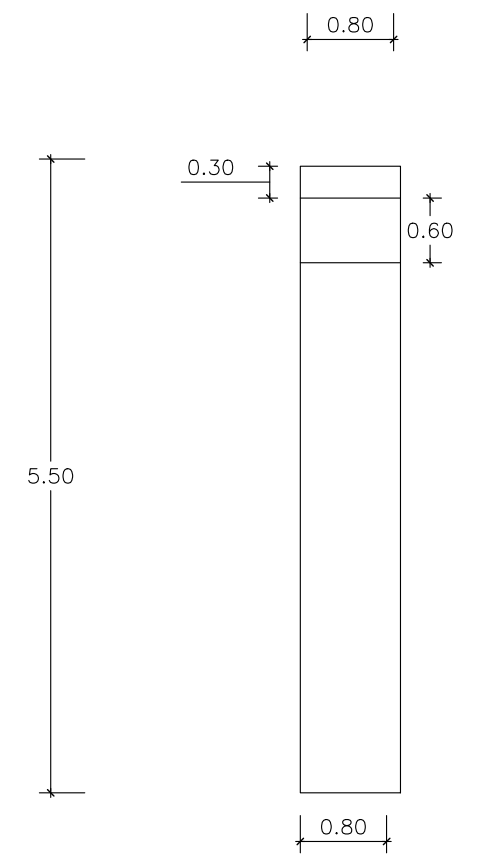
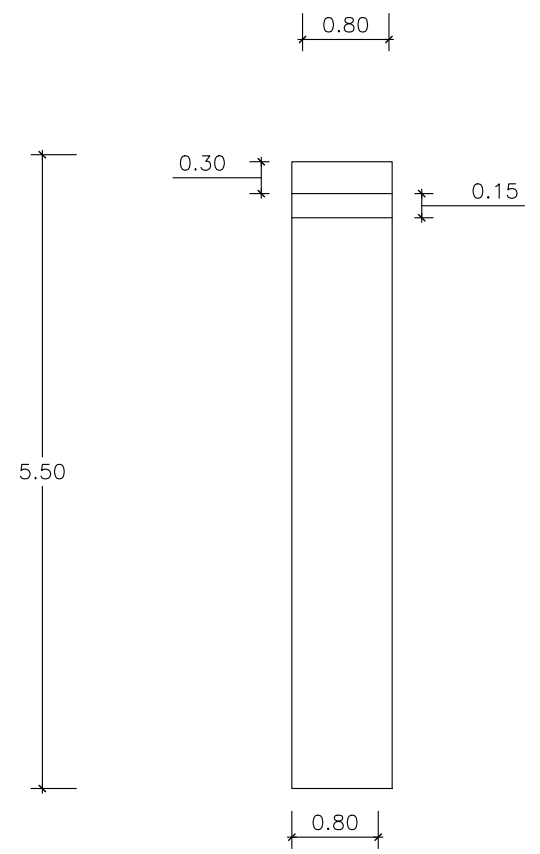
Escala:  
INDICADAS

Plano nº:  
14

ALZADO PILAS  
Escala 1:70



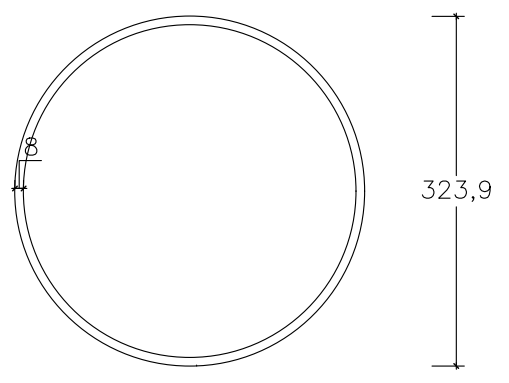
PERFIL PILAS  
Escala 1:70



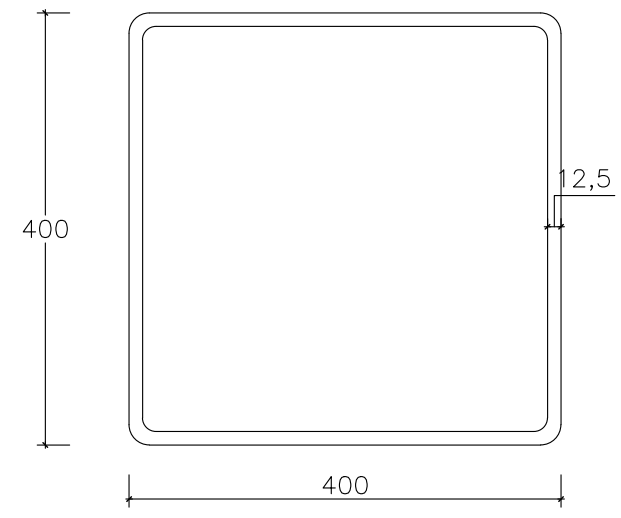
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

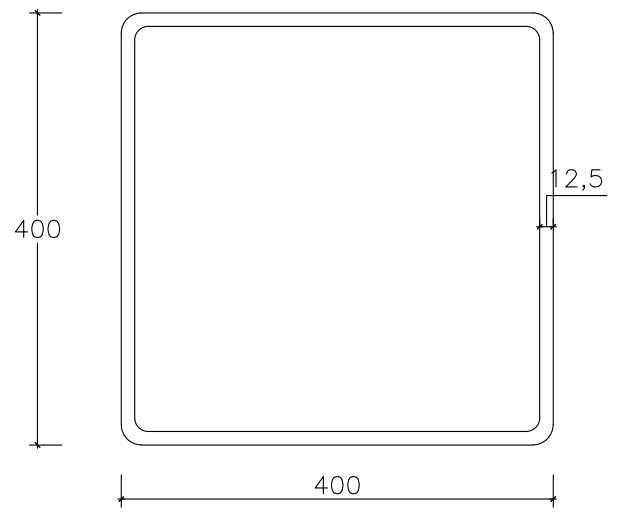
ARCO  
Escala 1:5 cotas: mm



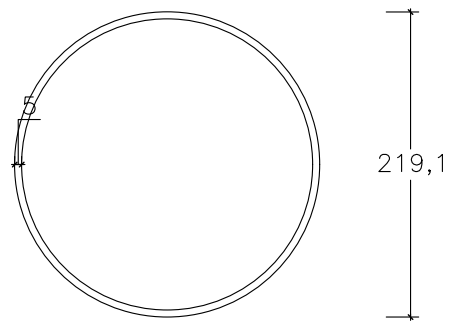
VIGA DE APOYO  
Escala 1:5 cotas: mm



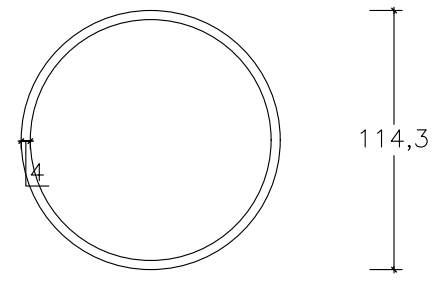
VIGA LONGITUDINAL  
Escala 1:5 cotas: mm



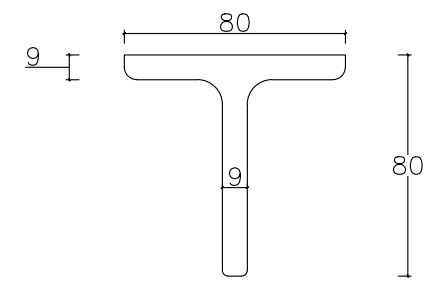
DIAGONALES  
Escala 1:5 cotas: mm



VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO  
Escala 1:5 cotas: mm

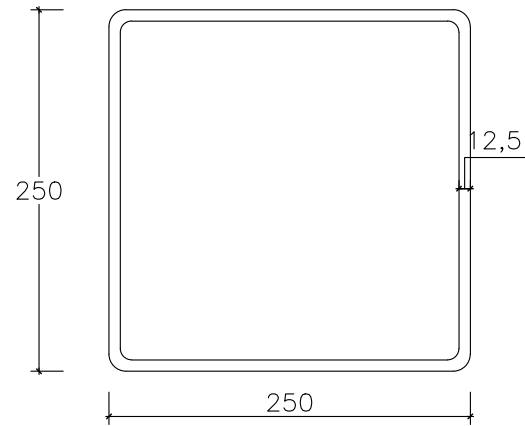


VIGAS DE PISO  
Escala 1:2 cotas: mm

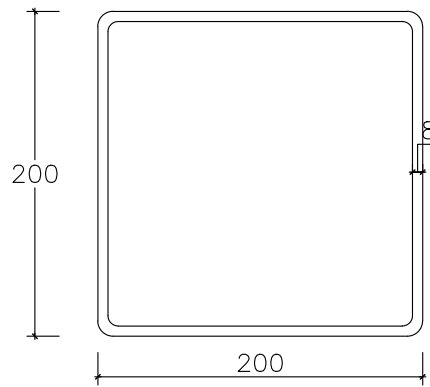


Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

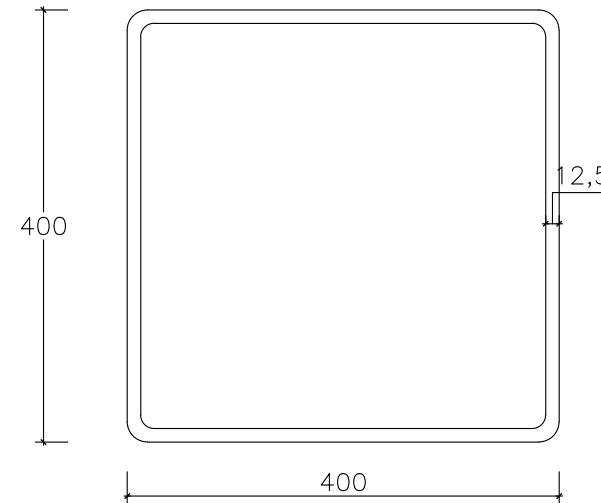
CORDÓN SUPERIOR  
Escala 1:5 cotas: mm



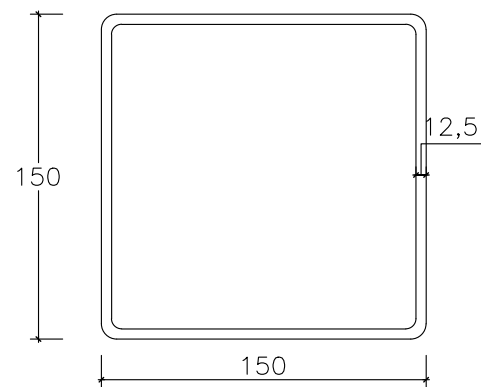
DIAGONALES  
Escala 1:5 cotas: mm



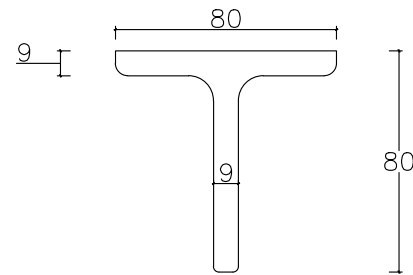
VIGA LONGITUDINAL  
Escala 1:5 cotas: mm



VIGAS DE ARRIOSTRAMIENTO  
Escala 1:5 cotas: mm



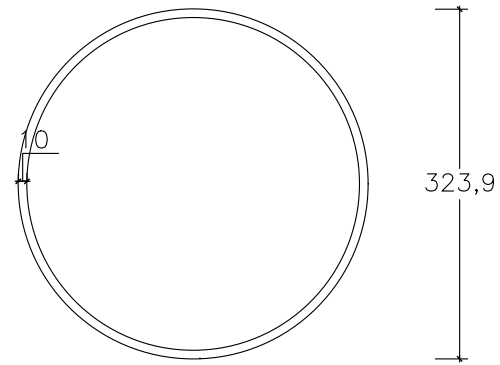
VIGAS DE PISO  
Escala 1:2 cotas: mm



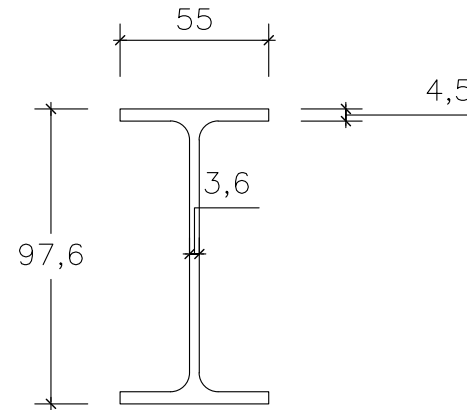
Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-



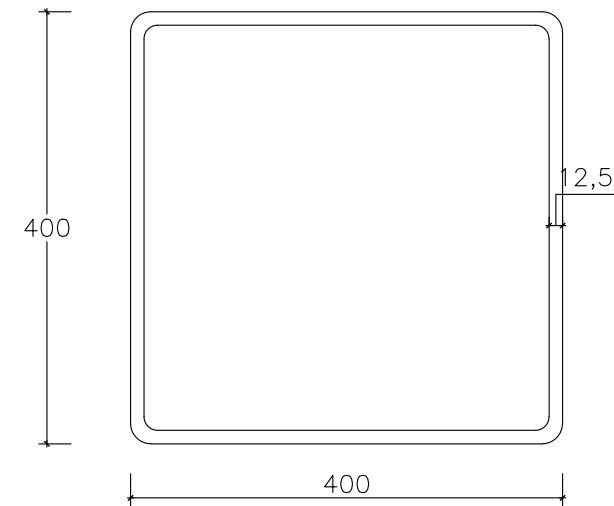
ARCO  
Escala 1:5 cotas: mm



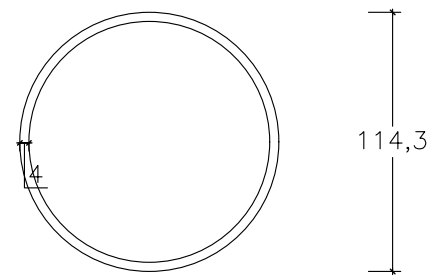
VIGA IPEAA100  
Escala 1:10 cotas: mm



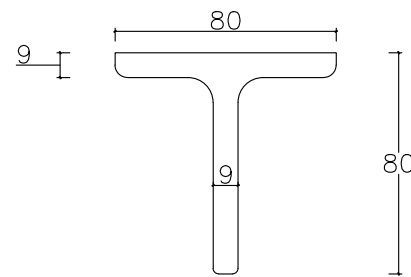
VIGA LONGITUDINAL  
Escala 1:5 cotas: mm



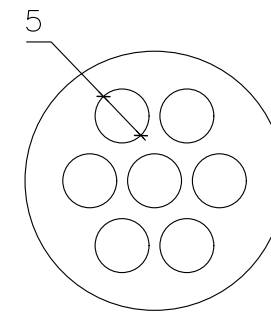
VIGA DE ARRIOSTRAMIENTO  
Escala 1:5 cotas: mm



VIGAS DE PISO  
Escala 1:5 cotas: mm

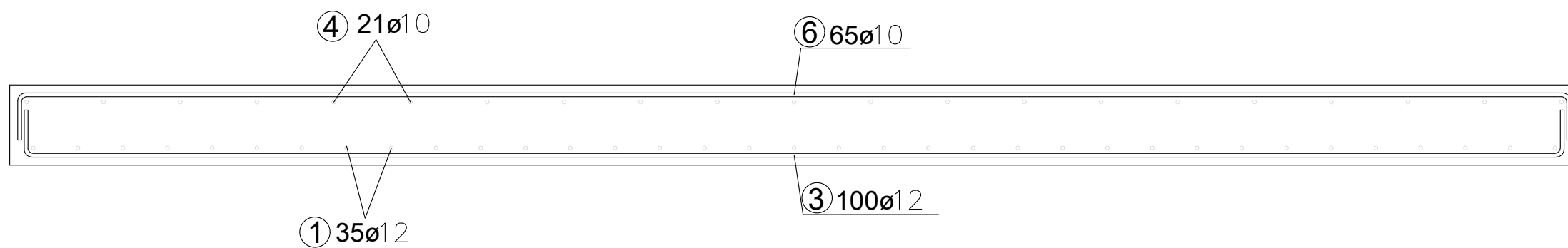


PÉNDOLAS  
Escala 1:10 cotas: mm

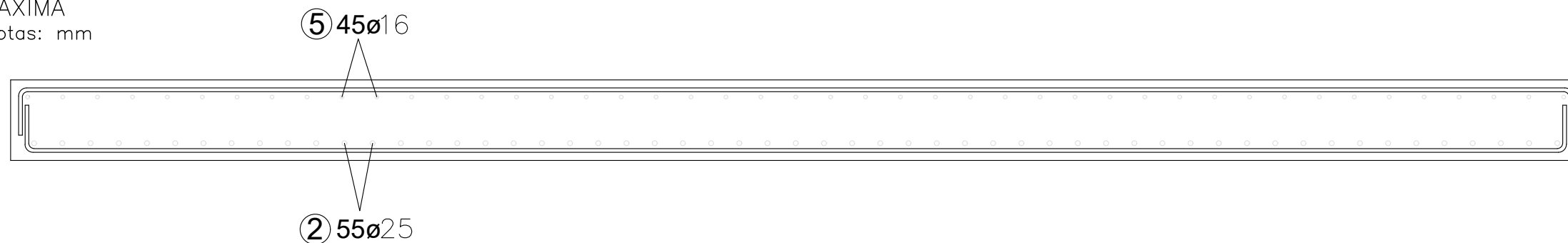


Cuadro de materiales					
Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barra alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

CUANTÍA MÍNIMA  
Escala 1:10 cotas: mm



CUANTÍA MÁXIMA  
Escala 1:5 cotas: mm



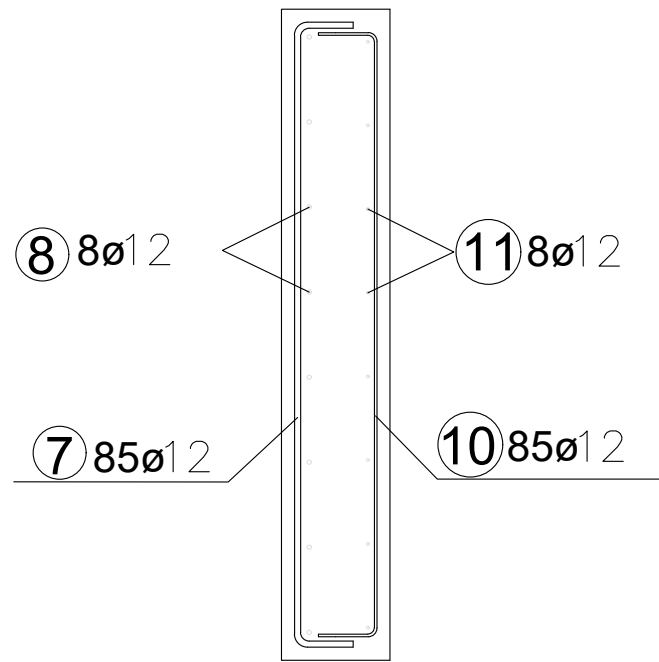
ARMADO DE LA LOSA

ID	ø(mm)	Nº piezas	L (m)	L total (m)	Peso (kg/m)	Peso total (kg)
1	12	70	12	840	0,62	520,8
1	12	70	7,3	511	0,62	316,82
2	25	110	7,7	847	1,21	1024,87
3	12	200	6,46	1292	1,21	1563,32
4	10	42	12	504	0,62	312,48
4	10	42	7,3	306,6	2	613,2
5	16	90	5,7	513	1,21	620,73
6	10	130	6,46	839,8	3,85	3233,23

Cuadro de materiales

Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barras alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

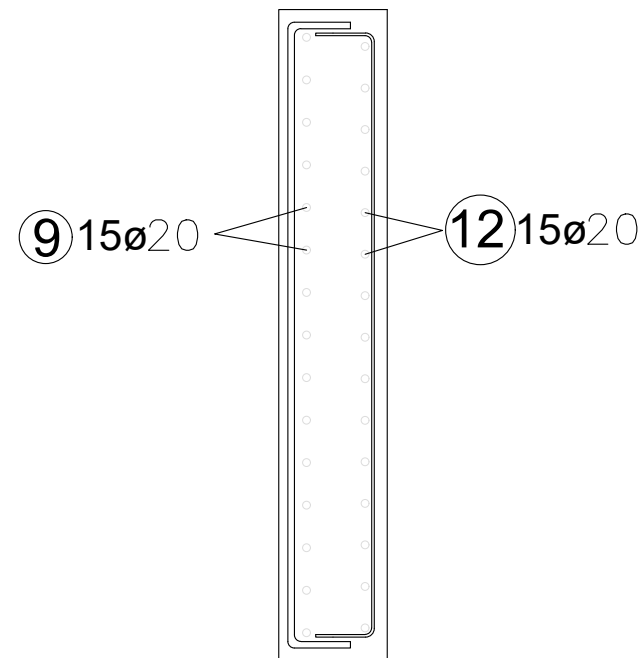
CUANTÍA MÍNIMA  
Escala 1:40 cotas: mm



### ARMADO DE LOS MUROS

ID	ø(mm)	Nº piezas	L (m)	L total (m)	Peso (kg/m)	Peso total (kg)
7	12	340	1,5	510	0,39	198,9
8	12	32	12	384	0,39	149,76
8	12	32	7,3	233,6	1,21	282,66
9	20	120	2	240	6,31	1514,4
10	12	340	1,5	510	0,39	198,9
11	12	32	12	384	3,85	1478,4
11	12	32	7,3	233,6	1,21	282,66
12	20	120	2	240	6,31	1514,4

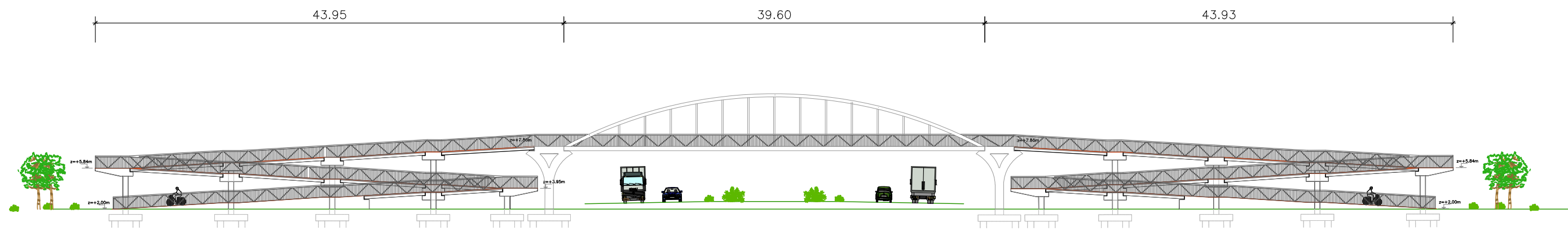
CUANTÍA MÁXIMA  
Escala 1:40 cotas: mm



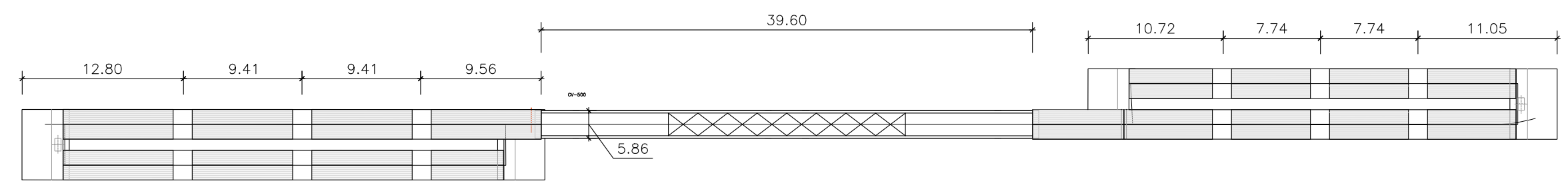
### Cuadro de materiales

Elementos	Localización	Especificaciones	Coef. seguridad	Nivel de control	Recubrimiento (mm)
Acero	Alternativas 1,2,4	S355 JR	1,050	Normal	-
Hormigón	Toda la alternativa 3	HA-35	1,500	Estadístico	35
Acero pasivo	Barras alternativa 3	B500S	1,150	Normal	-
Acero activo	Cables alternativa 4	Y-1860 S7	1,150	Normal	-
Hormigón	Piso de las alternativas 1,2,4	HA-25	-	Normal	-
Ejecución	Según IAP-11 (2012)			Normal	-

ALZADO GENERAL  
Escala 1:400



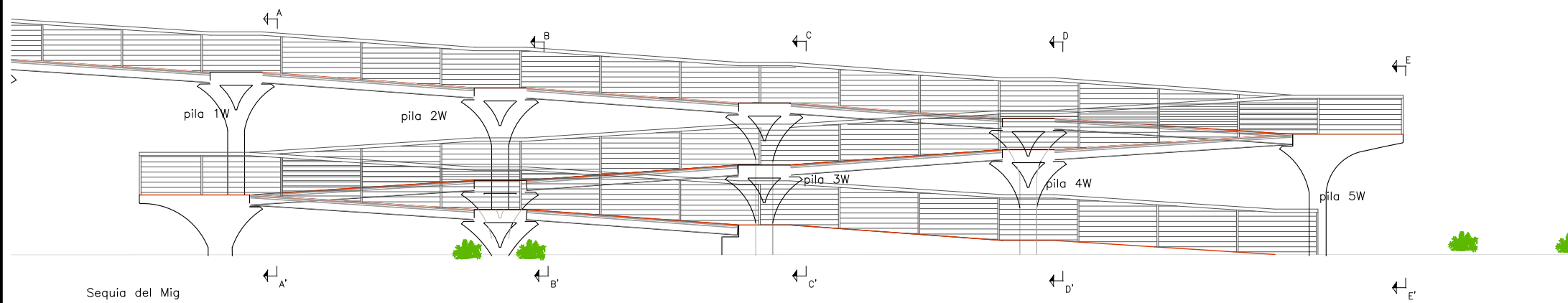
PLANTA GENERAL  
Escala 1:400



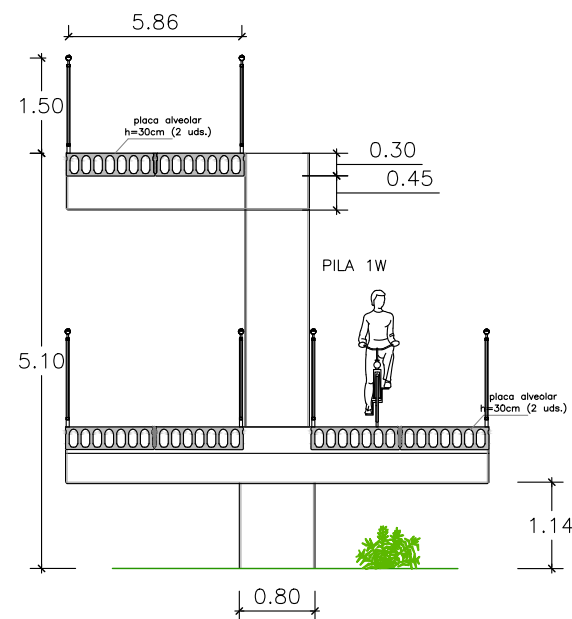
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

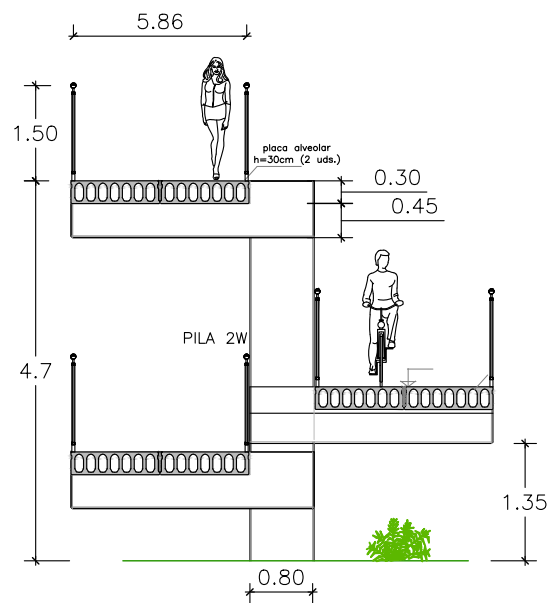
RAMPA DE ACCESO OESTE  
Escala 1:160



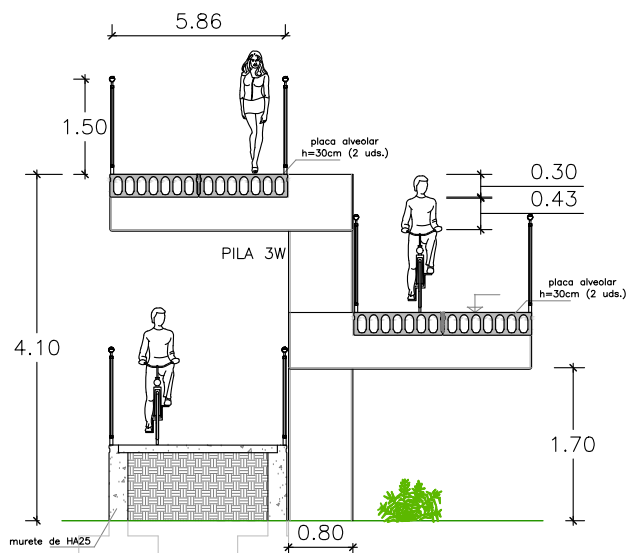
SECCIÓN A-A'  
Escala 1:100



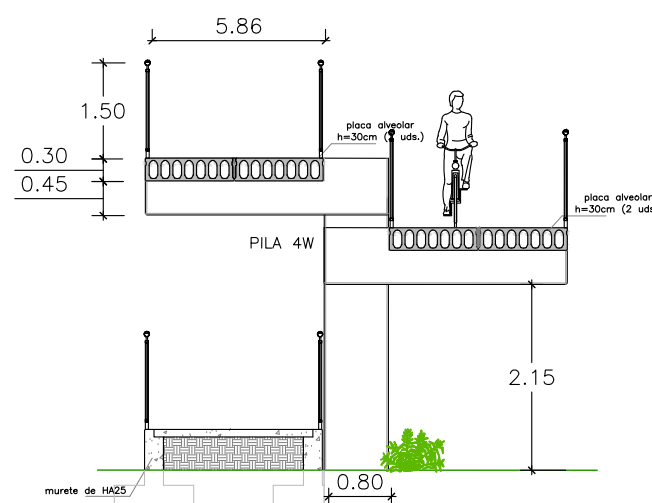
SECCIÓN B-B'  
Escala 1:100



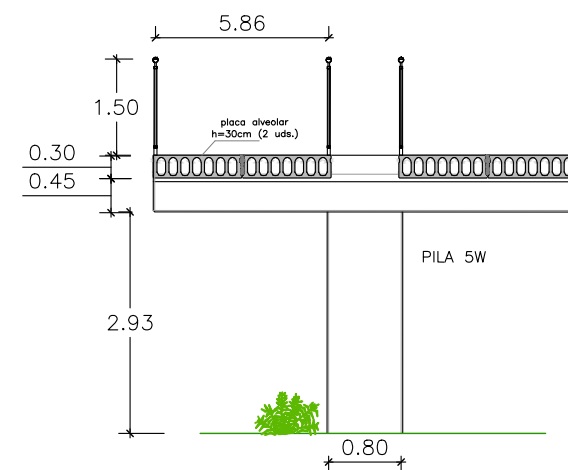
SECCIÓN C-C'  
Escala 1:100



SECCIÓN D-D'  
Escala 1:100



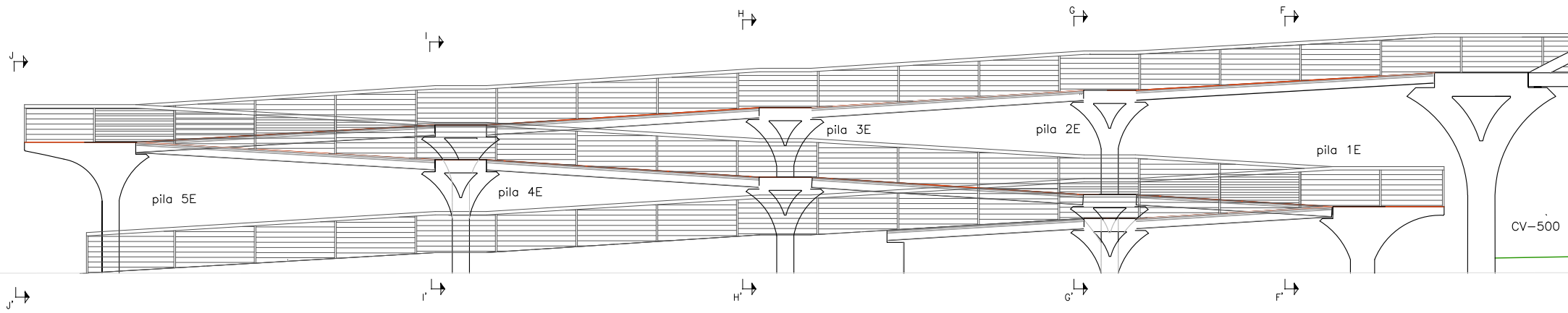
SECCIÓN E-E'  
Escala 1:100



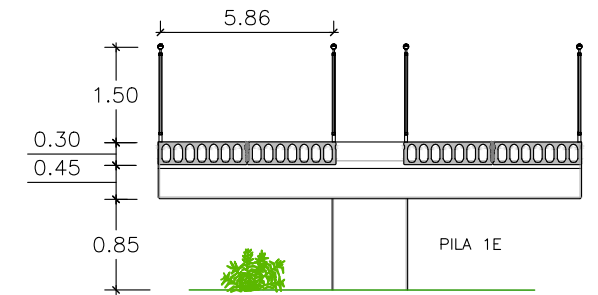
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

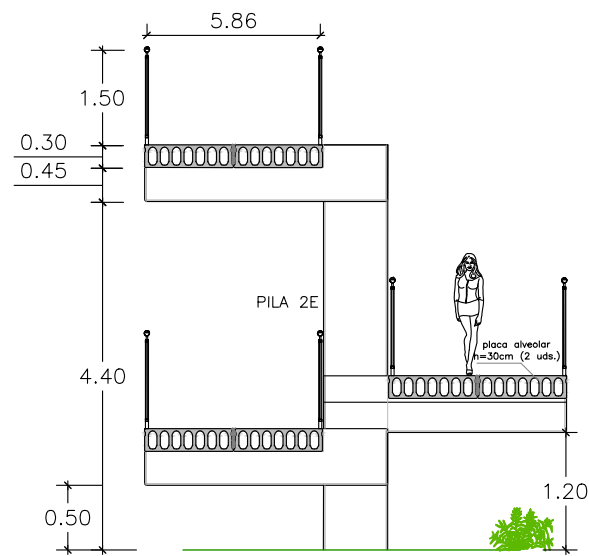
RAMPA DE ACCESO ESTE  
Escala 1:160



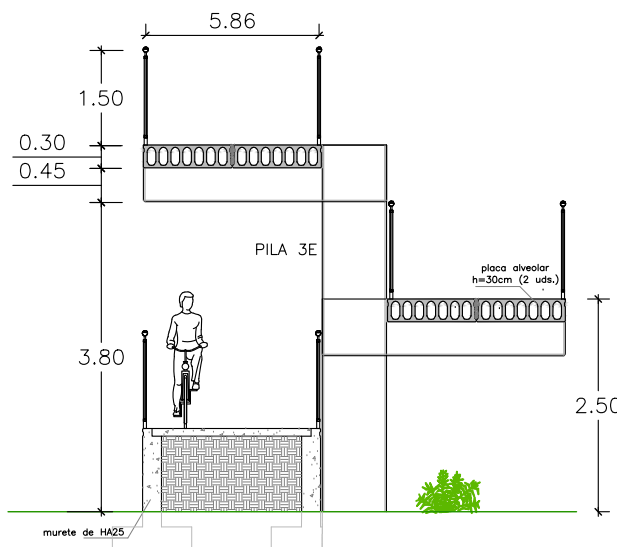
SECCIÓN F-F'  
Escala 1:100



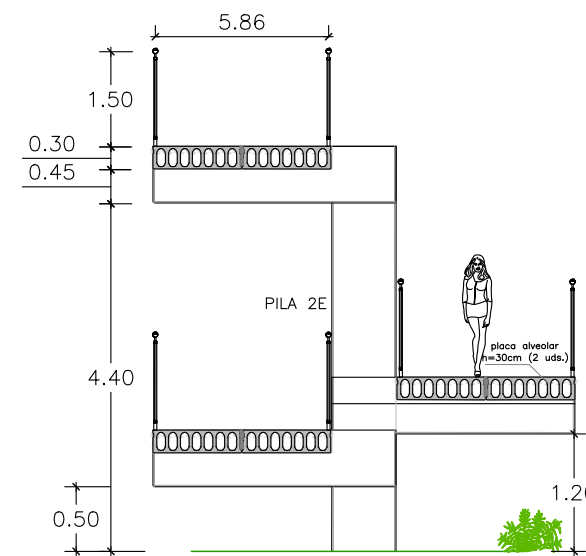
SECCIÓN G-G'  
Escala 1:100



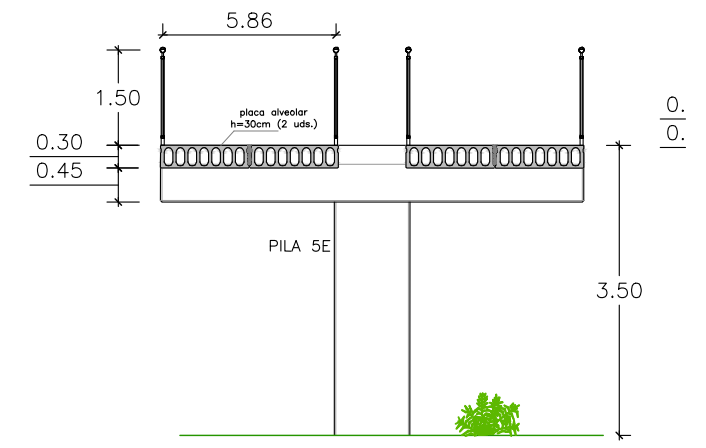
SECCIÓN H-H'  
Escala 1:100



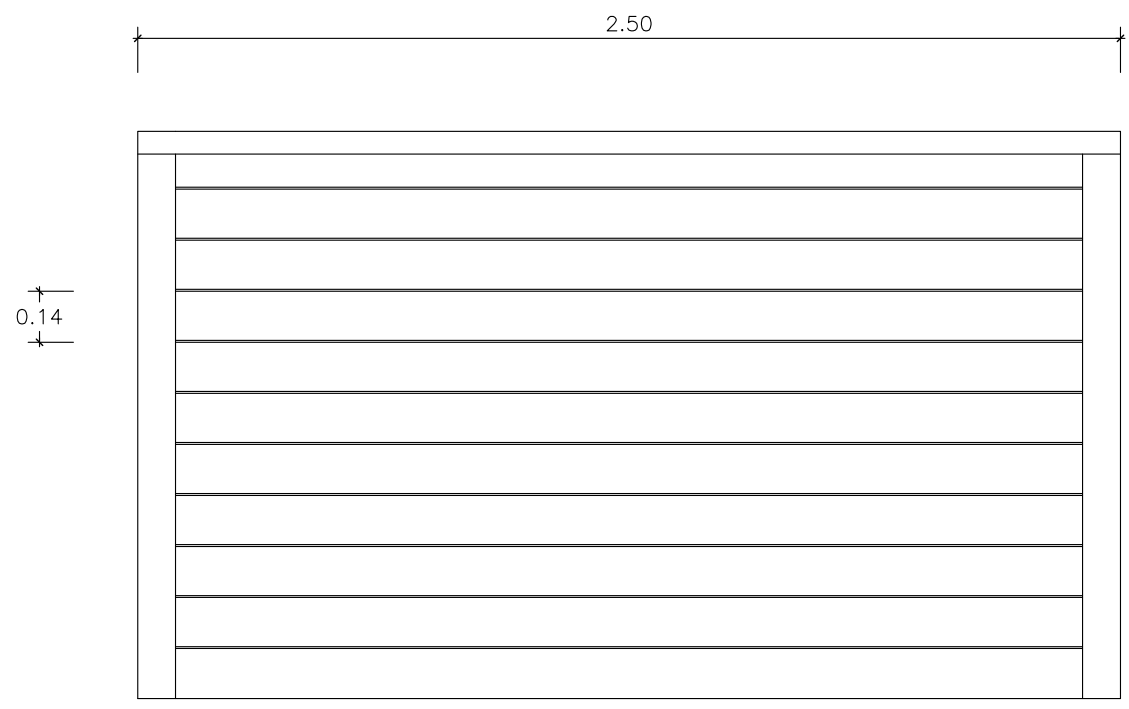
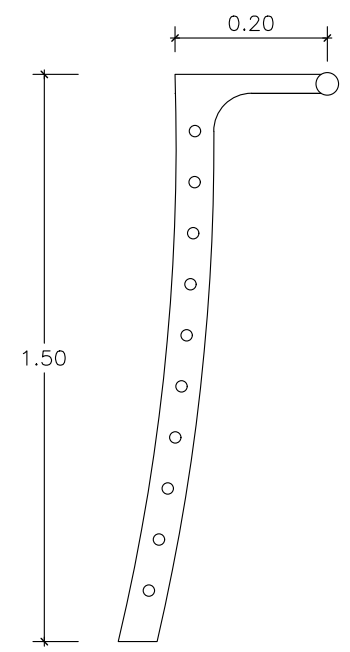
SECCIÓN I-I'  
Escala 1:100



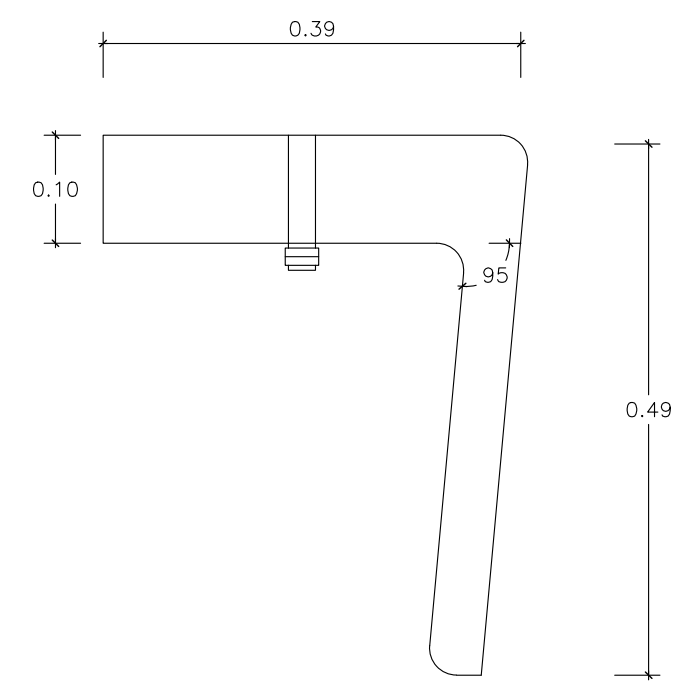
SECCIÓN J-J'  
Escala 1:100



BARANDILLA  
Escala 1:20



IMPOSTA  
Escala 1:7



SISTEMA DE DESAGÜE  
Escala 1:4

