

# ANEJOS

---

PROYECTO BÁSICO DE PASARELA DE ESTRUCTURA MIXTA  
COMBINADA CON PRETENSADO EXTERIOR PARA CONECTAR  
EL BARRIO DE BATOY CON EL POLÍGONO SANTIAGO PAYÁ EN  
ALCOY (ALICANTE).

DANIEL BRESÓ HIGES  
ETSICCP | UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



## Contenido

1	Anejo Topográfico .....	5
1.1	Introducción .....	5
1.2	Cartografía y sistema de referencia .....	5
2	Anejo Estudio Geotécnico .....	9
2.1	Introducción .....	9
2.2	Descripción del área de estudio y datos generales.....	9
2.3	Datos Climáticos.....	11
2.4	Encuadre geológico .....	11
2.5	Reconocimientos y Ensayos .....	13
2.6	Ensayos de laboratorio.....	15
2.7	Caracterización Geotécnica de los materiales .....	16
2.8	Agua Subterránea.....	19
3	Anejo Estudio de Soluciones .....	20
3.1	Estilo Elegido .....	20
3.2	Soluciones planteadas.....	22
3.3	Alternativa 1.....	22
3.4	Alternativa 2.....	23
3.5	Alternativa 3.....	24
3.6	Bases para la selección.....	25
3.6.1	Criterios.....	25
3.6.2	Sistema de Valoración .....	27
4	Anejo de la Solución adoptada.....	31
4.1	Introducción .....	31
4.2	Sección .....	31
4.3	Disposición .....	32
4.4	Senda de Acceso.....	33
4.4.1	Equipamientos.....	34
4.4.2	Flora.....	36
5	Anejo de Cálculo y Análisis.....	40
5.1	Descripción.....	40
5.2	Evolución .....	40
5.3	Normativa.....	40
5.4	Acciones .....	41
5.4.1	Acciones permanentes.....	41
5.4.2	Sobrecargas de Uso.....	44

5.4.3	Acciones Térmicas .....	46
5.4.4	Acciones de Viento .....	48
5.5	Estados Limites Últimos .....	54
5.5.1	Combinaciones ELU .....	55
5.6	Estados Limites de Servicio .....	57
5.6.1	Combinaciones Estado límite de Servicio.....	58
5.7	Cálculo EXCEL .....	59
5.8	Primera Iteración SAP2000 .....	62
5.9	Segunda Iteración SAP2000 .....	65
5.9.1	Método Nudos Centro Luz .....	66
5.9.2	Método Nudos en los Extremos.....	68
5.10	Tercera Iteración en SAP2000.....	71
5.11	Comprobaciones ELS.....	77
5.11.1	Comprobación de Deformación (Flechas).....	77
5.11.2	Comprobación de la Frecuencia.....	77
6	Anejo de Uniones .....	78
7	Anejo de Pretensado.....	83
7.1	Definición .....	83
7.2	Normas del producto .....	83
7.3	Características mecánicas mínimas garantizadas .....	83
7.4	Objetivo .....	85
7.5	Disposición .....	85
7.6	Fuerza de Tesado .....	89
7.7	Dimensionamiento pretensado .....	90
7.8	Acciones Alambre Pretensado .....	91
7.9	Dimensionamiento Estructura final con pretensado .....	93
7.10	Conclusión .....	95
8	Anejo de Planos.....	98
9	Anejo de Presupuestos.....	103
9.1	Valoración económica de los materiales .....	103
9.1.1	Solución sin pretensado .....	103
9.1.2	Solución con pretensado.....	105
9.2	Coste en Recursos Humanos del Proyecto.....	107
9.2.1	Coste de personal.....	107
9.2.2	Coste informático.....	107
10	Objetivos de Desarrollo Sostenible Agenda 2030.....	108



# 1 Anejo Topográfico

## 1.1 Introducción

El objeto del presente anejo consiste en exponer la procedencia de la base cartográfica empleada en la redacción del Proyecto Básico e pasarela de estructura mixta combinada con pretensado exterior para conectar el barrio de Batoy con el polígono Santiago Payá en Alcoy (Alicante).

## 1.2 Cartografía y sistema de referencia

Como base cartográfica para los diferentes estudios asociados a la redacción del siguiente trabajo se ha empleado la cartografía oficial disponible propiedad del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Se emplea el visor cartográfico de IGN para la ubicación del proyecto:

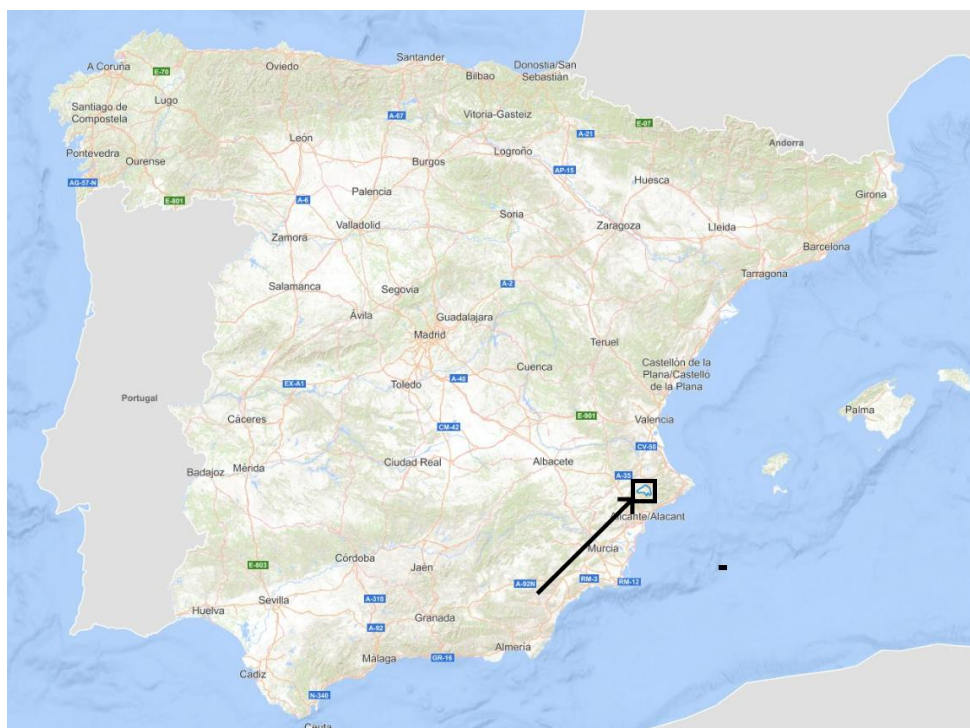


Figura 1-1 Ubicación Proyecto, nivel Nacional.





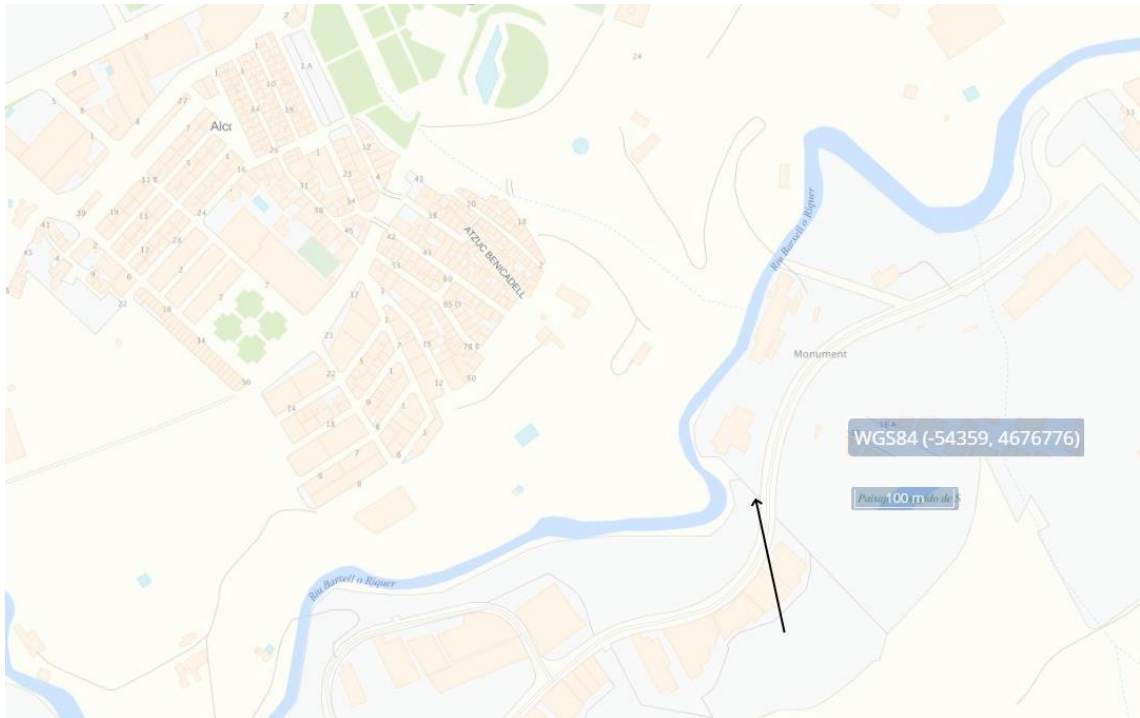


Figura 1-4 Ubicación punto final de la pasarela.

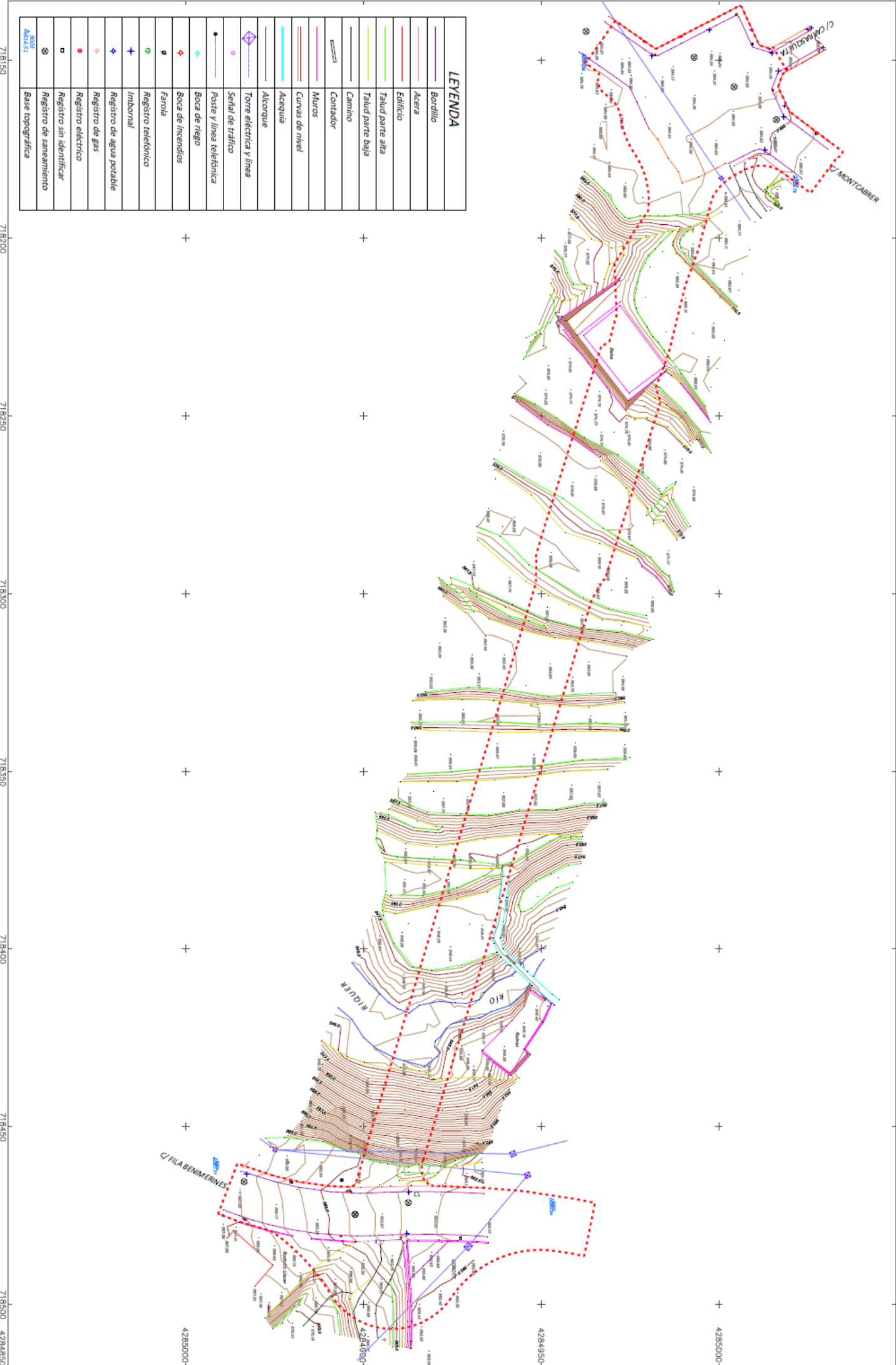
El sistema de referencia empleado para la representación de dicha cartografía es el WGS 84. En las imágenes se muestran las coordenadas del inicio y fin de la pasarela en dicho sistema de referencia.

Se dispone también de los puntos previamente marcados para ahora con las coordenadas en el sistema de referencia ETRS89:



Figura 1-5 Sistema de referencia ETRS89





**LEYENDA**

	Bordillo
	Acera
	Edificio
	Talud parte alta
	Talud parte baja
	Camino
	Contador
	Muros
	Curvas de nivel
	Acequia
	Alcorque
	Torre eléctrica y línea
	Señal de tráfico
	Poste y línea telefónica
	Boca de riego
	Boca de incendios
	Farola
	Registro telefónico
	Imbornal
	Registro de agua potable
	Registro de gas
	Registro eléctrico
	Registro sin identificar
	Registro de saneamiento
	Base topográfica

718150 718200 718250 718300 718350 718400 718450 718500 4285000- 4284950- 4285000- 4284950-

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y ESTADO ACTUAL



## 2 Anejo Estudio Geotécnico

Los datos obtenidos de este estudio geotécnico vienen dados por un estudio geotécnico realizado en el lugar por la empresa CyTEM S.L Alicante, con el código de la obra A-9497/GT realizado el 29/06/2018.

El estudio se realiza entre el barrio de Batoy y el Polígono industrial Santiago Payá entre C/Carrasqueta y C/ Filà dels Benimerins.

### 2.1 Introducción

---

Se ha realizado un estudio geotécnico para la construcción de un puente sobre el Rio Riquer, con la finalidad de unir el Polígono Santiago Payá, situado al sur, con el barrio de Batoi, situado al Norte, en la localidad de Alcoy (Alicante).

Para tal fin se ha realizado un reconocimiento del área, mediante la ejecución de 3 sondeos mecánicos y 2 penetraciones dinámicas superpesadas D.P.S.H. ensayando las muestras procedentes de los sondeos en el laboratorio CyTEM, S.L. Estos trabajos han permitido obtener una información precisa sobre la conformación y caracterización geotécnica del suelo, que a continuación exponemos, junto con la descripción de este y algunos otros datos de interés para la obra proyectada.

### 2.2 Descripción del área de estudio y datos generales

---

El puente se va a construir sobre el río Riquer, a su paso por la ciudad de Alcoy. El estribo Este se ubicará en la calle Filà del Benimerins, en el Polígono Santiago Payà, en esta zona se emplazaron el sondeo y la penetración 1. En el lado opuesto del río se han realizado los sondeos 2, 2 Bis y la penetración 2, emplazados en la zona cercana a la confluencia entre la calle Montcabrer y la calle Carrasqueta. El municipio de Alcoy se encuentra a unos 60 km al norte de la ciudad de Alicante, en la comarca l'Alcoià. La altitud media del municipio es de unos 562 m.s.n.m.

Los sondeos 1 y 2 Bis, así como las penetraciones 1 y 2 se realizaron en zona abancalada cercana al borde del barranco, lo más aproximado posible a la ubicación de los estribos del futuro puente. El sondeo 2 Bis hubo que desplazarlo una vez comenzado por razones ajenas al laboratorio cuando ya alcanzaba los 7.1 metros de profundidad. Se consultó con el peticionario el nuevo emplazamiento del sondeo 2, ubicándose finalmente en el ensanche del vial del final de la calle Carrasqueña.

En los taludes naturales del río Riquer se observan cortes del terreno que permiten reconocer la estructura geológica del enclave. Ésta se caracteriza por unos materiales margosos en el fondo

del río, que en algunos puntos del margen Este alcanzan hasta la cota en la que se sitúa el polígono industrial. Sobre estas margas aparece un piedemonte, constituido por suelos detríticos, caracterizado por una alternancia de limos y arcillas con gravas.

A continuación, se muestra una fotografía que muestra el aspecto del barranco situado entre los dos márgenes de puente:



*Fotografía 1: Vista, desde el margen Este hacia el margen Oeste del barranco*



*Fotografía 2: Vista, desde el margen Oeste hacia el margen Este del barranco*

## 2.3 Datos Climáticos

El área de estudio se encuadra dentro de una franja climática mediterránea (Figura 1), por lo que en su régimen pluviométrico general se desarrollan periódicamente aguaceros de gran intensidad consecuencia de los cuales pueden producirse escorrentías importantes, anegarse áreas considerables y entrar en funcionamiento barrancos y rieras inactivos en épocas de estiaje.

Este tipo de precipitación tiene lugar fundamentalmente en otoño y ocasionalmente en primavera, por lo que se recomienda dimensionar los sistemas de drenaje a los eventos tempestivos con mayor periodo de retorno y dotar a la zona de una pendiente adecuada que conduzca la escorrentía hacia los desagües y sumideros que deben encontrarse en perfecto estado de mantenimiento.



Figura 2-1 Mapa climático de España

## 2.4 Encuadre geológico

La Cordillera Bética se extiende desde Cádiz hasta el norte de la provincia de Alicante y continúa bajo el mar Mediterráneo hasta las islas Baleares, quedando limitada al norte por la Meseta Ibérica y al sur por el mar Mediterráneo. Se encuentra dividida en dos dominios principales: las Zonas Externas situadas al norte y las Zonas Internas situadas al sur. Otro dominio de menor extensión en la Cordillera es el Complejo del Campo de Gibraltar. Finalmente, sobre todos estos dominios se localizan numerosas cuencas neógeno-cuaternarias

### **Estilo tectónico:**

Las Zonas Internas constituyen un conjunto de mantos alóctonos limitados al norte por el dominio de las Zonas Externas (localmente por el Complejo del Campo de Gibraltar) y al sur por el mar Mediterráneo. Se diferencian tres complejos o unidades metamórficas principales superpuestas tectónicamente, que en orden de superposición son las siguientes: Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide.

Las Zonas Externas limitan al norte por la Meseta Ibérica (antepaís) o por la Cuenca del Guadalquivir (antefosa) y, al sur, principalmente por la Zonas Internas. También limita con el Complejo del Campo de Gibraltar al oeste y con el mar Mediterráneo al este. Están formadas por una cobertera sedimentaria intensamente deformada por pliegues y cabalgamientos vergentes aproximadamente hacia el norte. Una división paleogeográfica permite separar dos conjuntos principales: Zona Prebética (al norte) y Zona Subbética (al sur). Entre ambos se sitúan las Unidades Intermedias que presentan características estratigráficas mixtas.

En la zona estudiada se encuentra el estudiado Prebético externo, tanto por lo que se refiere a sus facies litoestratigráficas (neríticas) como por su estilo estructural de las largas crestas con bóvedas anticlinales en champiñón con verticalización los flancos como los flancos e incluso inversión en profundidad. Los sinclinales quedan ocultos en profundidad debido al amplio desarrollo de las formaciones miocenas y muy especialmente del Tap.

### **Estratigrafía:**

El área de estudio se encuentra en la zona de transición al Prebético interno formada por un sinclinal en calcirruditas del Tortoniense hacia el Barranc de Cinc, con un problemático flanco Sur en el Salt, en una sucesión hacia el oeste de Senoniense, Paleoceno e Ilerdiense aflorante, según una potencia de menos de 100 m. Este posible flanco cierra inmediatamente hacia el Este y aparece fallado y volcado.

El Tap, ampliamente desarrollado, se extiende desde aquí hacia Levante e impide reconocer otras características de esta zona de transición, a la que podría pertenecer el anticlinal de Alfaro.

Los materiales que afloran en el área de estudio son calcirruditas bioclásticas del Neogeno cubiertas en su mayor parte por depósitos de ladera y conos de deyección que revisten las laderas del barranco. En el fondo de este aparecen terrazas fluviales que han sido excavadas por el agua que circula por el propio barranco en épocas de crecida.

### **Geomorfología:**

Desde el punto de vista geomorfológico, la zona presenta fuertes pendientes debido a su naturaleza compuesta por depósitos de ladera y conos de deyección. Además, la morfología viene condicionada por la erosión del río Riquer, de forma que en las laderas colindantes se pueden producir fenómenos de ladera que modifiquen la geometría de los taludes.



## 2.5 Reconocimientos y Ensayos

El reconocimiento del terreno se ha realizado mediante la ejecución de 3 sondeos mecánicos (uno de ellos, el 2 Bis, se tuvo que interrumpir por causas ajenas) y 2 penetraciones dinámicas superpesadas D.P.S.H. (UNE 103801/94). Las coordenadas de los puntos de reconocimiento se encuentran en la tabla siguiente:

COORDENADAS UTM			
Sondeo/DPSH	X	Y	Z
SRV-1	718457	4284863	567
SRV-2	718181	4284992	583
SRV-2 Bis	718188	4284965	584
DPSH-1	718466	4284899	566
DPSH-2	718181	4284932	580

Tabla 1 Coordenadas de los puntos de reconocimiento

Los sondeos 1 y 2 se han realizado con modelo a rotación y recuperación continua de testigo (XP-P 94-202) alcanzando las profundidades de 20 y 30 m respectivamente, mientras que las DPSH-1 y DPSH-2 han alcanzado valores de rechazo a 14.37 y 15.95 m respectivamente. Para la realización de estos trabajos se ha empleado un equipo ISSA CANARIAS 240 dotado de Penetrómetro automático y montado sobre camión. Los materiales perforados en el sondeo se distribuyen de la siguiente manera:

Sondeo/DPSH	Rellenos		Limos y arcillas		Margas		Total
	m.l.	%	m.l.	%	m.l.	%	m.l.
SR-1	1.50	7.5	--	--	18.50	92.5	20.00
SR- 2 Bis	0.10	1.4	7.00	98.6	--	--	7.10
SR-2	8.00	26.7	22.00	73.3	--	--	30.00

Tabla 2 Distribución de los materiales obtenidos

Durante la ejecución de los sondeos se han realizado 13 Ensayos de Penetración Estándar (UNE EN ISO 22476-3:2006) que facilitan una idea de la competencia del terreno a la vez que permiten recuperar muestra para analizarla en laboratorio. La naturaleza de los suelos atravesados ha permitido 6 tomas de muestras inalteradas con Tomamuestras Normalizado según XP P94-202 La profundidad a la que se han realizado estos ensayos, así como los valores de golpeo para su realización se muestran en la tabla siguiente:



Sondeo	Tipo	Profundidad (m)	N <sub>15</sub>	N <sub>15</sub>	N <sub>15</sub>	N <sub>15</sub>	N <sub>30</sub>
1	SPT	2.40 – 3.00	11	19	20	26	39
	INAL.	5.40 – 6.00	14	20	23	19	36*
	SPT	8.41 – 9.00	6	14	17	17	31
	INAL.	11.40 – 12.00	16	24	39	50	38*
	SPT <sub>PC</sub>	14.40 – 14.50	50	--	--	--	Rechazo
	SPT	17.40- 18.00	9	11	14	20	25
	SPT	19.40 – 20.00	14	23	26	30	49
2 Bis	SPT <sub>PC</sub>	2.40 – 3.00	7	6	6	6	12
	SPT <sub>PC</sub>	5.40 – 6.00	8	7	7	7	14
2	SPT <sub>PC</sub>	2.40 – 3.00	3	4	6	4	10
	SPT <sub>PC</sub>	5.40 – 6.00	3	2	3	3	5
	SPT	8.40 – 9.00	3	3	7	9	10
	INAL.	11.40 – 12.00	9	12	16	24	17*
	SPT <sub>PC</sub>	14.40 – 15.00	27	27	31	29	58
	INAL.	17.40 – 18.00	9	22	29	32	31*
	INAL.	20.40 – 21.00	10	17	22	30	23*
	SPT	23.40 – 24.00	8	14	22	26	36
	INAL.	26.40 – 27.00	18	23	40	48	38*
	SPT	29.40 – 30.00	16	23	30	30	53

Tabla 3 Distribución y tipos de ensayos in-situ

**SPT:** Standard Penetration Test (UNE EN ISO 22476-3:2006).

**SPT<sub>PC</sub>:** Ensayo de penetración estándar realizado con punta ciega.

**INAL:** Toma de muestra inalterada con Tomamuestras Normalizado (XP P94-202).

\*: Equivalente al 60% del N<sub>30</sub> del SPT

Las columnas litológicas de los sondeos con los niveles atravesados, los ensayos realizados en su interior y las fotografías de las cajas donde se guardan los testigos se adjuntan en el Anexo B2.

Los resultados de las penetraciones dinámicas indican perfiles escalonados que se pueden correlacionar con los niveles geotécnicos de los materiales atravesados en los sondeos. De tal modo que en la penetración 1 se alcanza el Nivel I de limos y arcillas hasta 5.20 m de profundidad y a partir de esa cota se encuentran las margas del Nivel I. En el caso de la penetración 2, se observan valores puntuales más altos, sobre valores de golpeo bajos y medios, por lo que se correlaciona con los limos y arcillas del Nivel I, correspondiendo los valores más altos a tramos encostrados o con mayor presencia de gravas.

## 2.6 Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio realizados tienen en cuenta la naturaleza de los suelos atravesados, que condiciona la selección de estos, y la tipología de la obra a realizar. Con los testigos y muestras recuperados en los sondeos se han efectuado los siguientes ensayos, cuyas actas acreditadas se muestran en el Anexo D.

UNIDADES	DESIGNACIÓN
8	Análisis granulométrico por tamizado (UNE 103-101/95)
8	Determinación de los límites de Atterberg (UNE 103-103/94 y 103-104/93)
9	Determinación de la humedad de un suelo (UNE 103-300/93)
4	Determinación de la densidad de un suelo. Método de la balanza hidrostática (UNE 103301/94)
3	Determinación de los parámetros resistentes a esfuerzo cortante de una muestra de suelo en caja de corte directo. Consolidado Drenado (CD) (UNE 103401/98)
3	Compresión simple en probeta de suelo (UNE 103400/93)
2	Determinación del contenido de sulfatos solubles en suelos (Anejo 5 EHE)
1	Análisis químico para determinar la agresividad del agua al hormigón (EHE-08)

Tabla 4 Ensayos de laboratorio

A continuación, se muestra una tabla resumen de las muestras ensayadas y los resultados obtenidos:

Sondeo	Muestra	Profundidad	G	A	L-CL	L <sub>L</sub>	I <sub>P</sub>	H	D	Corte directo		qu	SUL
										c	φ		
SR-1	SPT	2.40 – 3.00	--	--	--	--	--	14.5	--	--	--	--	--
	Inalterada	5.40 – 6.00	--	--	--	--	--	21.9	--	--	--	--	--
	Testigo	6.80 – 7.20	0	31	69	43.4	20.0	--	--	--	--	--	--
	SPT	8.40 – 9.00	--	--	--	--	--	32.1	--	--	--	--	--
	Testigo	10.80 – 11.40	0	33	67	49.2	25.2	--	--	--	--	--	186
	Inalterada	11.40 – 11.98	--	--	--	--	--	28.0	1.96	59.4	35.7	315	--
	Testigo	12.60 – 13.20	0	44	56	90.4	51.8	--	--	--	--	--	--
	SPT	17.40 – 18.00	--	--	--	--	--	25.5	--	--	--	--	--
SPT	19.40 – 20.00	--	--	--	--	--	20.4	--	--	--	--	--	
SR-2 Bis	Testigo	3.60 – 4.20	24	31	45	18.2	3.0	--	--	--	--	--	--
	SPT	8.40 – 9.00	--	--	--	--	--	26.3	--	--	--	--	--
	Inalterada	11.40 – 12.00	--	--	--	--	--	22.2	2.01	10.0	36.5	74	--
	Testigo	12.00 – 12.60	0	34	66	31.4	12.0	--	--	--	--	--	294
	Inalterada	17.40 – 18.00	--	--	--	--	--	33.1	--	--	--	--	--

<b>SR-2</b>	Testigo	18.60 – 19.20	0	41	59	44.9	21.0	--	--	--	--	--	--
	Inalterada	20.40 – 21.00	--	--	--	--	--	19.1	2.03	30.1	26.5	30	--
	Testigo	21.00 – 21.60	0	2	98	58.9	33.2	--	--	--	--	--	--
	SPT	23.40 – 24.00	--	--	--	--	--	22.7	--	--	--	--	--
	Inalterada	26.40 – 27.00	--	--	--	--	--	22.3	--	--	--	--	--
	Testigo	27.60 – 28.20	9	38	53	53.3	26.8	--	--	--	--	--	--
	SPT	29.40 – 30.00	--	--	--	--	--	20.0	--	--	--	--	--

**G:** % Grava (>2.0 mm) **A:** % Arena (2.0-0.06 mm) **L:** % Limo (0.06-0.002 mm) **CL:** % Arcilla (<0.002 mm) **L<sub>c</sub>:** Límite líquido **I<sub>p</sub>:** Índice de plasticidad **H:** Humedad natural (%) **D:** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)  
**c:** Cohesión (kPa) **φ:** Ángulo de rozamiento interno(º) **qu:** Resistencia a compresión simple (kPa) **SUL:** Sulfatos (mg/Kg)

Sondeo	Parámetro	Resultado
<b>Agua freática</b>	<b>PH a 21.9 °C</b>	7.445
	<b>Residuo seco (mg/l)</b>	908
	<b>SO<sup>2-</sup><sub>4</sub> (mg/l)</b>	84
	<b>Magnesio (Mg<sup>2+</sup>) (mg/l)</b>	31
	<b>CO<sub>2</sub> libre (mg/l)</b>	9
	<b>Amonio (NH<sup>+</sup><sub>4</sub>) (mg/l)</b>	0

Tabla 5 Resultados de ensayos de laboratorio, muestra de Agua SR1-10.84 m

## 2.7 Caracterización Geotécnica de los materiales

Considerando la morfología y las características geológicas generales de la zona, expuestas en el Apartado 3.4 y el análisis de los testigos y muestras obtenidas en los sondeos, se han establecido los siguientes niveles con significado geotécnico que a continuación se describen detalladamente:

Sondeo	Nivel	Profundidad (m)	Espesor (m)
<b>SR-1</b>	<b>0</b>	<b>Rellenos</b>	0.00 – 1.50 1.50
	<b>I</b>	<b>Limos y arcillas</b>	-- --
	<b>II</b>	<b>Margas</b>	1.50 – 20.00 18.5
<b>SR-2</b>	<b>0</b>	<b>Rellenos</b>	0.00 – 0.10 0.10
	<b>I</b>	<b>Limos y arcillas</b>	0.10 – 7.10 7.00
	<b>II</b>	<b>Margas</b>	-- --

<b>SR-2 Bis</b>	<b>0</b>	<b>Rellenos</b>	0.00 – 8.00	8.00
	<b>I</b>	<b>Limos y arcillas</b>	8.00 – 30.00	22.00
	<b>II</b>	<b>Margas</b>	--	--
<b>DPSH-1</b>	<b>0</b>	<b>Rellenos</b>	0.00 – 1.20	1.20
	<b>I</b>	<b>Limos y arcillas</b>	1.20 – 5.20	4.00
	<b>II</b>	<b>Margas</b>	5.20 – 14.37	9.17
<b>DPSH-2</b>	<b>0</b>	<b>Rellenos</b>	0.00 – 1.40	1.40
	<b>I</b>	<b>Limos y arcillas</b>	1.40 – 15.95	14.55
	<b>II</b>	<b>Margas</b>	--	--

*Tabla 6 Niveles geotécnicos establecidos en los sondeos perforados*

### **NIVEL 0 - RELLENOS Y SUELO VEGETAL**

Desde las bocas de los sondeos y penetraciones hasta 1.5 m profundidad y excepcionalmente 8.00 m en el caso del sondeo 2, se ha atravesado el presente nivel constituido por este nivel constituido por rellenos antrópicos y suelo vegetal. Está constituido por suelos detríticos con matriz limosa, con presencia de raíces y materiales de relleno procedentes de excavaciones de obras cercanas.

En el caso del sondeo 2, los rellenos se encuentran cubriendo un antiguo barranco cuya traza se encontraba al final de la calle Carrasqueña. Éste fue rellenado con escombros y restos de excavaciones de obras cercanas, para alcanzar la cota de explanación de los viales.

Se trata de materiales de deficiente calidad geotécnica no aptos para el apoyo de la cimentación, por lo que deben ser superados por la misma.

### **NIVEL I.- LIMOS Y ARCILLAS**

Bajo el Nivel 0 de rellenos y suelo vegetal, aparece un nivel de limos y arcillas, excepto en el sondeo 1 en el que aparece directamente el Nivel II. Cabe destacar que en los sondeos 2 y 2Bis, realizados en el margen del Batoy, este nivel alcanza hasta la profundidad máxima investigada, 7.10 y 30.00 metros respectivamente.

Se trata de una alternancia de depósitos de suelos detríticos continentales, en los que predominan las fracciones finas, limosas en el caso del sondeo 2 Bis y arcillosas en el sondeo 2. En ambos casos aparecen tramos intercalados con mayor contenido en fracción gruesa.

En los SPT realizados se han obtenido valores de N30 comprendidos entre 10 y rechazo, por lo que posee una consistencia "Compacta a Dura", según Crespo Villalaz, 1990. Para los cálculos se ha empleado el medio valor de los N30 obtenidos (25), quedando del lado de la seguridad.

Los parámetros calculados y estimados que podrán ser empleados en el cálculo de la estructura prevista se muestran en la tabla 18:

Tabla 7 Nivel I. Limos y arcillas. Parámetros geotécnicos calculados y estimados

Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Grava (2.0-60.0 mm) % peso	0.0 – 24.0	Porosidad %	36.8
Arena (0.06-2.0 mm) % peso	2.0 – 41.0	Índice de poros	0.582
Limo (0.002-0.06 mm) % peso	45.0 – 98.0	Humedad %	23.7
Arcilla (<0.002 mm) % peso		Grado de saturación %	Saturada
Límite Líquido	18.2 – 58.9	Valor N <sub>30</sub> S.P.T.	25
Índice de plasticidad	3.0 – 33.2	Consistencia <sup>(1)</sup>	Compacta a Dura
Clasificación USCS	CL / CH / SC	Ángulo de resistencia interna $\phi$ <sup>(1)</sup>	31.5
Clasificación AASTHO	A-4 A-6 A-7-6	Cohesión kPa	20
Peso específico de partículas g/cm <sup>3</sup>	2.690	Módulo de deformación <sup>(2)</sup> kg/cm <sup>2</sup>	160 – 200
Peso específico seco g/cm <sup>3</sup>	1.70	Coefficiente de balasto <sup>(3)</sup> kg/cm <sup>3</sup>	7.0 – 9.0
Peso específico aparente g/cm <sup>3</sup>	2.02	Coefficiente de permeabilidad <sup>(4)</sup> m/s	10 <sup>-7</sup>
Peso específico saturado g/cm <sup>3</sup>	2.07	Resistencia a compresión simple (kPa)	52
Peso específico sumergido g/cm <sup>3</sup>	1.07	Contenido de ión sulfato (g/cm <sup>3</sup> )	294

Nota<sup>(1)</sup>: Según Crespo Villalaz, 1990.

Nota<sup>(2)</sup>: Según Jiménez Salas (1980).

Nota<sup>(3)</sup>: Para placa de 1 pie<sup>2</sup>. Según Jiménez Salas (1980).

Nota<sup>(4)</sup>: Según la Tabla D.28 del DB SE-C del CTE.

## NIVEL II.- MARGAS

Bajo el Nivel 0 de rellenos, en el sondeo 1 se ha atravesado el presente nivel, constituido por margas del Tap. Éstas margas presentan alta plasticidad, no obstante, al encontrarse prácticamente saturadas, no se esperan variaciones importantes de volumen. De todos modos, deberán tomarse las precauciones que se establecen en el apartado 6 para el apoyo de la cimentación.

En los SPT y muestras inalteradas realizados en el presente nivel, se han obtenido valores de N30 comprendidos entre 25 y rechazo, por lo que posee una consistencia “Muy Compacta a Dura”, según Crespo Villalaz, 1990. Para los cálculos se ha empleado el menor valor de los N30 obtenidos (35), quedando del lado de la seguridad.

Los parámetros calculados y estimados que podrán ser empleados en el cálculo de la estructura prevista se muestran en la tabla 19:

Tabla 8 Nivel II. Margas. Parámetros geotécnicos calculados y estimados

Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Grava (2.0-60.0 mm) % peso	0.0	Porosidad %	37.6
Arena (0.06-2.0 mm) % peso	31.0 – 44.0	Índice de poros	0.604
Limo (0.002-0.06 mm) % peso	56.0 – 69.0	Humedad %	23.7
Arcilla (<0.002 mm) % peso		Grado de saturación %	Saturada
Límite Líquido	43.4 – 90.4	Valor N <sub>30</sub> S.P.T.	35
Índice de plasticidad	20.0 – 51.8	Consistencia <sup>(1)</sup>	Muy Compacta a Dura
Clasificación USCS	CL / CH	Ángulo de resistencia interna ° <sup>(1)</sup>	35.7
Clasificación AASTHO	A-7-5 A-7-6	Cohesión kPa	59.4
Peso específico de partículas g/cm <sup>3</sup>	2.710	Módulo de deformación <sup>(2)</sup> kg/cm <sup>2</sup>	300 - 500
Peso específico seco g/cm <sup>3</sup>	1.69	Coefficiente de balasto <sup>(3)</sup> kg/cm <sup>3</sup>	16.0 - 21.0
Peso específico aparente g/cm <sup>3</sup>	2.09	Coefficiente de permeabilidad <sup>(4)</sup> m/s	10 <sup>-8</sup>
Peso específico saturado g/cm <sup>3</sup>	2.09	Resistencia a compresión simple (kPa)	315
Peso específico sumergido g/cm <sup>3</sup>	1.09	Contenido de ión sulfato (g/cm <sup>3</sup> )	186

Nota<sup>(1)</sup>: Según Crespo Villalaz, 1990.

Nota<sup>(2)</sup>: Según Jiménez Salas (1980).

Nota<sup>(3)</sup>: Para placa de 1 pie<sup>2</sup>. Según Jiménez Salas (1980).

Nota<sup>(4)</sup>: Según la Tabla D.28 del DB SE-C del CTE.

## 2.8 Agua Subterránea

Se ha detectado la presencia de un acuífero colgado en el sondeo 1 a 10.84 metros de profundidad desde la cota de la boca del sondeo. A partir del I ensayo completo del agua realizado en el sondeo se ha clasificado como no agresiva frente al hormigón.



## 3 Anejo Estudio de Soluciones

### 3.1 Estilo Elegido

---

Para este proyecto se han planteado en su totalidad soluciones de estructura metálicas, obviando así las soluciones que podría aportar las tipologías constructivas propias del hormigón. Se decide emplear únicamente este tipo de soluciones por diferentes factores.

La primera característica que debemos tener en cuenta de las estructuras metálicas sobre las de hormigón es su ligereza, tanto en masa como visual. Lo cual la opción metálica da como resultado una estructura más liviana debido a su magnífica relación entre resistencia y volumen, lo cual resulta en menos carga al terreno, permitiéndonos unas cimentaciones menores.

Cabe destacar también la alta tenacidad y ductilidad del material, que permitiendo una alta deformación sin fallar nos puede avisar de algún fallo prematuro. Hay que añadir también que el comportamiento del acero en zonas sísmicas es altamente satisfactorio debido a esta última propiedad citada, la ductilidad, siendo Alcoy una zona de una sismicidad algo elevada es interesante el uso del Acero.

Respecto a la construcción el acero permite un grado de prefabricación mayor con una rapidez de montaje superior debido en gran parte a la gran capacidad de laminación del acero y su facilidad para unir los elementos por diversos medios como pueden ser soldadura, tornillos y remaches. Todo esto nos permite construir la estructura en un taller a pie de obra de forma rápida y colocar los vanos mediante una grúa gracias a su ligereza.

Además, las estructuras metálicas nos permiten reutilizar el material en caso de que terminar su vida útil, ya que esta puede ser fácilmente desmontada y desensamblada.



*Ilustración 1 Unión soldada, MANNI SIPRE*

Por último, como factor determinante para la elección de estructura metálica sobre la estructura de hormigón está la de la propia integración paisajística. Como hemos comentado previamente, la estructura de acero es más liviana, lo cual se traduce en una visión más limpia y clara del entorno.

Debemos mencionar que Alcoy es una ciudad con una gran vinculación histórica a los puentes, entre estos nos encontramos con el Viaducto de Canalejas construido entre 1901-1907 por el ingeniero de caminos Próspero Lafarga Navarro.



*Ilustración 2 Viaducto de Canalejas*

El viaducto se convirtió en el máximo exponente del modernismo en Alcoy, que coincide con la época dorada de la ciudad. Es por ello por lo que el viaducto ha sido el emblema paisajístico de la capital y fue destacada como una de las obras de ingeniería más notables de España.

Por ello para mantener la línea de diseño de la propia ciudad, junto con todas las características previamente definidas, se decide emplear la estructura metálica para la construcción del puente.

### 3.2 Soluciones planteadas

El objeto de este estudio es el planteamiento de una serie de soluciones para dar respuesta a la problemática que presenta la construcción de una pasarela peatonal que salva el barranco ocasionado por el río Riquer.

Para ello dispondremos de tres posibles soluciones con diferentes disposiciones de las pilas, buscando, la luz más corta, la luz máxima y una luz intermedia, valorando cada una de las alternativas y mediante una suma ponderada multicriterio elegir la opción idónea.

### 3.3 Alternativa 1

La alternativa 1, o luces máximas, tiene como máxima premisa buscar la menor afección sobre el Dominio Público Hidráulico, disponiendo las pilas al límite de este. Esta disposición nos da dos vanos el occidental de 81,83 metros y el oriental de 47,88 metros. El acceso oriental estará conformado por una rampa en zigzag con una pendiente del 6% para garantizar la accesibilidad y unas escaleras directas integradas con la rampa.

Esta Solución no requiere un estudio hidráulico en la zona de flujo preferente, como contrapartida el aumento de la luz conlleva un aumento del canto al aumentar el momento en la sección central.

Por otra parte, tenemos el factor estético, le existencia de dos vanos continuos con luces tan dispares entre ellas puede no integrarse bien con el entorno que le rodea.

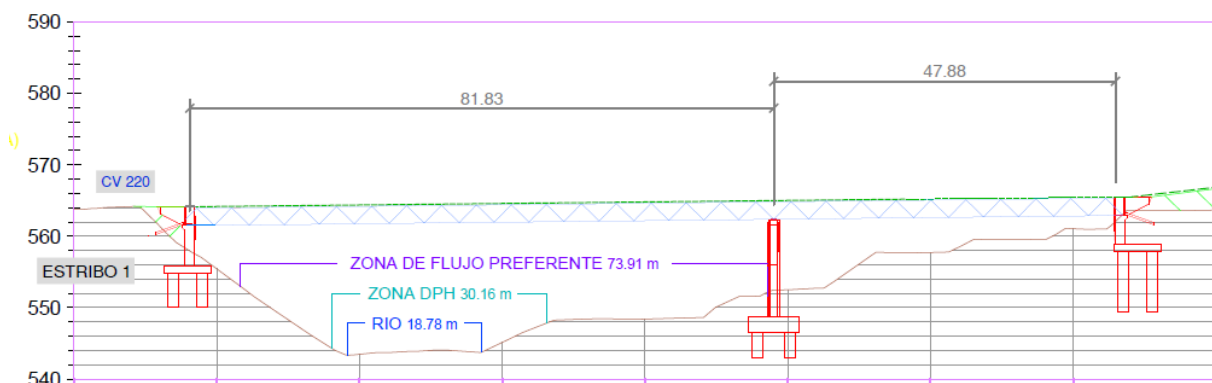


Figura 2.1: Alternativa 1, Luces Máximas

### 3.4 Alternativa 2

La alternativa 2 o luces mínimas prioriza la economía en el cálculo estructural, de esta forma reducimos el momento ejercido en el centro del vano colocando las pilas en las zonas más cercanas posibles, aunque para ello disponga la invasión de la zona de Dominio Público Hidráulico. Esta solución dispone de un mayor número de pilas, dos de ellas en la zona de flujo preferente.

Esta Solución requiere un estudio hidráulico en la zona de flujo preferente y garantizar que la inclusión de las pilas no afecte al caudal de las avenidas. En el factor estético la inclusión excesiva de pilas puede crear un impacto visual elevado, además de la falta de simetría en su disposición.

El acceso al estribo oriental será igual que en la alternativa uno, una rampa del 6% en zigzag para garantizar la accesibilidad y una escalera de acceso directo integrado con la rampa. Nos encontramos dos luces de 47,17 metros, otra luz de 23,62 metros en el estribo oriental y la menor luz en el estribo occidental con 10,70 metros.

El ahorro económico que puede suponer reducir la luz de los vanos y realizar una sección más ajustada a esta reducida ley de momentos puede verse eclipsado por el aumento del costo en las dos nuevas pilas adicionales que serían necesarias para la realización de esta alternativa.

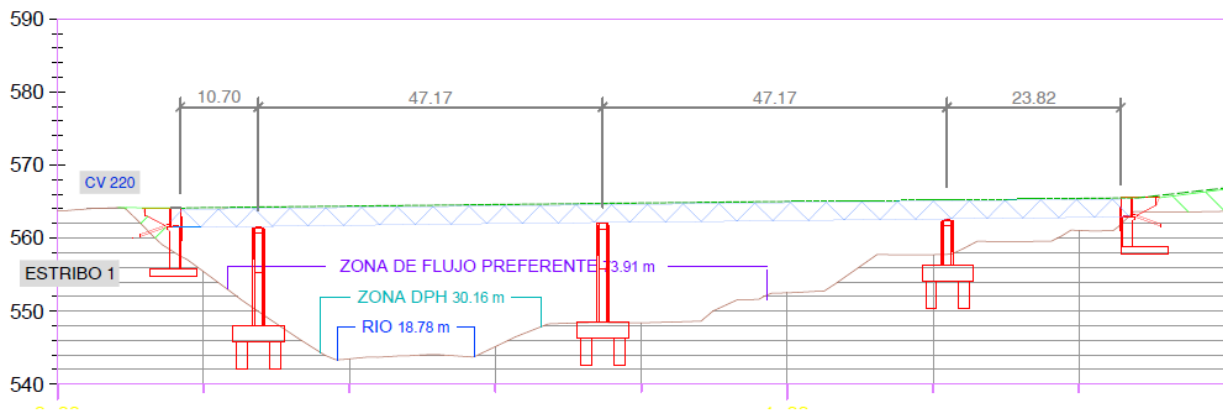


Figura 2.2: Alternativa 2, Luces Mínimas

### 3.5 Alternativa 3

La alternativa 3 o luces medias busca un punto intermedio entre las anteriores soluciones, por ello buscamos que la afección a la Zona de Flujo preferente sea lo menor posible sin que suponga un sobrecoste elevado debido al aumento de la luz en la pasarela.

Esta Solución requiere un estudio hidráulico en la zona de flujo preferente y garantizar que la inclusión de las pilas no afecte al caudal de las avenidas, es por ello por lo que se dispone de un apoyo elevado en una meseta oriental de la ribera.

El acceso al estribo oriental será igual que en la alternativa uno, una rampa del 6% en zigzag para garantizar la accesibilidad y una escalera de acceso directo integrado con la rampa. Nos encontramos dos luces simétricas de 65 metros, lo cual facilita el diseño, colocación en obra y mejora su calidad estética.

El ahorro económico en esta solución viene dado por buscar la simetría en el diseño y reducir el número de pilas necesarias, aunque suponga un posterior calculo hidráulico que la colocación de esta pila no afecta al caudal en caso de avenidas.

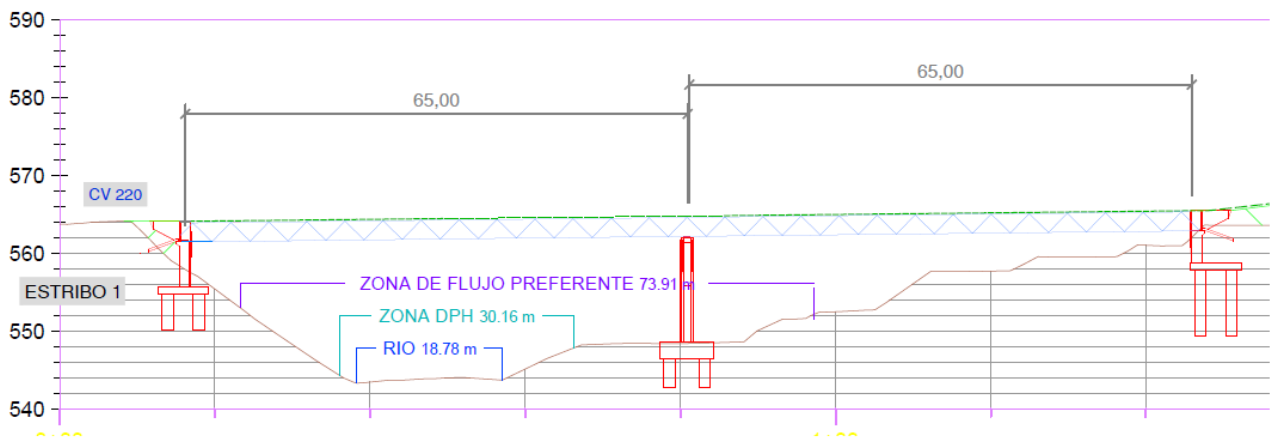


Figura 2.3: Alternativa 3, Luces Medias

## 3.6 Bases para la selección

---

Con base al planteamiento y descripción de cada alternativa, y con objeto de escoger la más apta, se procede a continuación al análisis comparativo de las mismas, atendiendo a los criterios que mencionaremos en el siguiente apartado y con un peso ponderado a cada uno de ellos.

### 3.6.1 Criterios

---

En ese apartado se enumeran y explican los criterios que se han seguido para valorar y justificar la elección de una de las alternativas propuestas. La valoración de cada alternativa se realizará en los siguientes apartados, así como su elección final.

#### 3.6.1.1 Económico

---

El criterio económico tiene como premisa escoger la opción de menos coste según las estimaciones de cantidad de material, mano de obra y maquinaria o equipo auxiliar necesario para la construcción de este.

Buscamos por tanto la mayor eficiencia presupuestaria. Para este criterio la opción más económica puntuará con la nota más elevada, y el resto obtendrán una valoración porcentual en función inversa del sobrecoste respecto a la primera.

#### 3.6.1.2 Constructivos

---

Gran parte de los elementos utilizados en construcción de pasarelas metálicas son, o pueden ser, prefabricados. El empleo de este tipo de elementos implica una disminución de los costes de conservación con una adecuada elección del tipo estructural, materiales, diseño, protección y plan de mantenimiento.

En este criterio valoraremos la facilidad constructiva, el grado de prefabricación, así como la rapidez de ejecución.

#### 3.6.1.3 Estético

---

La parte estética también formaría parte del criterio ambiental al ser la estética parte de los estudios de impacto Ambiental, aun así, se ha decidido separarlo para darle una mayor relevancia en este caso al diseño y a la inclusión de la obra en el paisaje.

El impacto causado en el medio natural por el que transcurre el vial no tiene que ver únicamente con la posible eliminación de masa forestal o los movimientos de tierras generados con los trabajos. Necesariamente, el transcurso de una nueva infraestructura lineal a lo largo de



un paisaje natural crea por si solo un elemento que puede resultar negativo para la estética del entorno.

Para tratar de paliar este resultado negativo en la estética del entorno, surge el concepto de “Integración paisajística”, que podemos definir como los trabajos dedicados a que la relación entre las vías y el paisaje resulte lo más armoniosa posible, maximizando la capacidad de interacción de las carreteras con el paisaje.

#### *3.6.1.4 Ambiental*

---

El impacto ambiental (también conocido como impacto antrópico o antropogénico sobre el medio ambiente) es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente.

El viaducto se encuentra sobre el río Riquer, es por ello que el impacto que puede ocasionar el viaducto ha de ser estudiado y valorado, bien por sus afecciones al propio río, como al ecosistema circundante.

Para esta valoración se han tenido en cuenta las afecciones de las posibles pilas al lecho del río, como la posible invasión del Dominio Público Hidráulico y las consecuencias respecto al caudal. También hemos de considerar la invasión de la maquinaria y elementos auxiliares al ecosistema de este y su afección sobre la fauna y flora existentes en la zona.

#### *3.6.1.5 Funcionalidad*

---

En este apartado definiremos la funcionalidad como la combinación concomitante de la seguridad, accesibilidad, confort y mantenimiento.

Por lo tanto, el viaducto ha de garantizar la seguridad, accesibilidad y confort para todos los usuarios de la vía, de forma competente, así pues, debe contar con una estructura que cumpla dichos criterios. Se puntuará también la facilidad de mantenimiento y que las futuras intervenciones sean lo más accesible y sencillas posible. Por lo tanto, para la valoración de este criterio se han tenido en cuenta las condiciones previamente citadas.

### 3.6.2 Sistema de Valoración

---

El sistema de valoración se realiza mediante suma ponderada de cada criterio para cada una de las alternativas, la opción escogida será la que presente una mayor puntuación final.

En caso de empate se decidirá valorando cuál de las alternativas tiene una mayor puntuación en los criterios con mayor valoración, siendo la alternativa que tenga mejores calificaciones en los criterios con más peso en la ponderación la elegida.

#### 3.6.2.1 Ponderación

---

El peso de cada criterio va asociado a la importancia que se le asigna en la valoración conjunta del proyecto, que dependerá en cada caso de las condiciones y objetivos de cada empresa y proyecto.

En nuestro caso los factores más determinantes son los relacionados con el factor económico y constructivo, el resto, aún sin dejar de ser importantes, pasan a un segundo plano, pues la funcionalidad se considera un factor que en todas las alternativas ha de cumplirse y por el lado medioambiental ninguna de las alternativas realiza una elevada intrusión en el medio como para ser un factor determinante.

- Económico: 25%
- Constructivo: 25%
- Estético: 17,5%
- Ambiental: 17,5%
- Funcionalidad: 15%

#### 3.6.2.2 Puntuación Alternativa 1

---

La Alternativa 1 o “Luces Máximas” tiene como premisa evitar la invasión del DPH, a costa de aumentar la luz máxima que existirá entre el estribo occidental y la pila central, esto supone un sobre costo en el diseño de la celosía. Cabe destacar que sólo hay una pila central, lo cual abarata el costo final debido a un menor número de m<sup>3</sup> de hormigón y una cimentación menor.

Es por ello por lo que se puntúa con un **7** en el apartado económico teniendo como referencias el resto de las soluciones planteadas.

En el apartado constructivo, la dificultad radica en la colocación de las celosías sobre las pilas, debemos tener en cuenta la diferencia de luces, lo cual dificulta la uniformidad del proceso constructivo y de colocación. Se decide puntuar esta parte con un **6**.

La estética del puente viene favorecida por la ausencia de excesivas pilas, lo cual da una visión limpia y clara del entorno, aunque la asimetría podría romper la línea de diseño, por ello se puntúa con un **7,5**.

Como se ha comentado la base de este diseño se busca la menos afección al medio que rodea el río Riquer, por lo tanto, esta es la opción más respetuosa con el medio, por lo que se decide puntuarla con un **8**.

La funcionalidad en todas las opciones está garantizada, por un paso inferior que permite un acceso sencillo a las instalaciones y a su vez garantiza accesibilidad y confort para los usuarios de la vía, es por ello por lo que se puntúa a todos con **8**.

### *3.6.2.3 Puntuación Alternativa 2*

---

La Alternativa 2 o “Luces Mínimas” tiene como premisa buscar la menor distancia posible entre pilas a costa de interferir en la zona de flujo preferente, esto supone un sobrecosto en el número de pilas que se ve aumentado a 3, lo cual aumenta el sobrecosto de las pilas, pero reduce drásticamente los momentos en la celosía y a su vez el costo de esta. Es por ello por lo que se puntúa con un **6,5** en el apartado económico.

En el apartado constructivo, la dificultad radica en la construcción de las 3 pilas con las que consta esta alternativa, además debemos tener en cuenta la diferencia de luces en los estribos, lo cual dificulta la uniformidad del proceso constructivo y de colocación. Se decide puntuar esta parte con un **7**.

La estética del puente se ve entorpecida por un número excesivo de pilas, lo cual puede generar un efecto pantalla visual que genere un alto impacto visual en el entorno, por ello se puntúa con un **6**.

Como se ha comentado la base de este diseño busca el menor momento en la celosía, a costa de incluir un mayor número de pilas que afectan al medio en mayor medida, por lo tanto, esta es la opción menos respetuosa con el medio, por lo que se decide puntuarla con un **6**.

La funcionalidad en todas las opciones está garantizada, por un paso inferior que permite un acceso sencillo a las instalaciones y a su vez garantiza accesibilidad y confort para los usuarios de la vía, es por ello por lo que se puntúa a todos con **8**.

### *3.6.2.4 Puntuación Alternativa 3*

---

La Alternativa 3 o “Luces Medias” tiene como premisa buscar una relación entre la distancia entre pilas y el número de estas. De esta manera se busca un balance entre el apartado económico y la afección al medio. Hay que destacar que la simetría en el diseño ayuda en la fase

constructiva, lo cual puede suponer un mayor ahorro de equipos y medios. Es por ello por lo que se puntúa con un **7,5** en el apartado económico.

En el apartado constructivo se caracteriza la simetría en las luces de ambos vanos, lo cual facilita su diseño y construcción, se debe tener en cuenta la pila central y el acceso hasta la construcción de este. Se decide puntuar esta parte con un **7,5**.

La estética del puente viene favorecida por la ausencia de excesivas pilas, lo cual da una visión limpia y clara del entorno, además la simetría ayuda a tener una línea estilizada del propio puente, por ello se puntúa con un **8**.

Como se ha comentado la base de este diseño busca un balance entre el presupuesto y la afección al medio que le rodea, teniendo una pila en la zona de flujo preferente, por lo tanto, esta opción afecta levemente al medio algo más que la alternativa 1, por lo que se decide puntuarla con un **7**.

La funcionalidad en todas las opciones está garantizada, por un paso inferior que permite un acceso sencillo a las instalaciones y a su vez garantiza accesibilidad y confort para los usuarios de la vía, es por ello por lo que se puntúa a todos con **8**.

### 3.6.2.5 Puntuación Final

	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
	Valoración		Valoración		Valoración	
<b>Económico</b>	7	1,75	6,5	1,625	7,5	1,875
<b>Constructivo</b>	6	1,5	7	1,75	7,5	1,875
<b>Estético</b>	7,5	1,3125	6	1,05	8	1,4
<b>Ambiental</b>	8	1,4	6	1,05	7	1,225
<b>Funcionalidad</b>	8	1,2	8	1,2	8	1,2
		<b>7,1625</b>		<b>6,675</b>		<b>7,575</b>

Tabla 9 Tabla Puntuación soluciones

Tras el sistema de valoración observamos que la “alternativa 3” tiene la mayor nota con un **7,575**, siendo esta la mayor de las alternativas propuestas, seguido muy de cerca por la “alternativa 1” con un 7,1625.

Esta solución ha destacado por buscar un balance entre la inferencia al medio y la distancia de las pilas, lo cual repercute directamente en los factores económicos y medio ambientales. Además, cabe destacar que la simetría permite simplificar cálculos y tipologías constructivas, permitiendo realizar dos celosías idénticas en la zona designada como taller a pie de obra.

Respecto al apartado estético ha destacado frente a las otras alternativas por una implementación limpia y simétrica en el entorno.

## 4 Anejo de la Solución adoptada

### 4.1 Introducción

Tras el anterior anejo y el sistema de cálculo planteado se observa que la “alternativa 3” tiene la mayor nota con un **7,575**, siendo esta la mayor de las alternativas propuestas, seguido muy de cerca por la “alternativa 1” con un 7,1625.

Esta solución ha destacado por buscar un balance entre la inferencia al medio y la distancia de las pilas, lo cual repercute directamente en los factores económicos y medio ambientales. Además, cabe destacar que la simetría permite simplificar cálculos y tipologías constructivas, permitiendo realizar dos celosías idénticas en la zona designada como taller a pie de obra.

Respecto al apartado estético ha destacado frente a las otras alternativas por una implementación limpia y simétrica en el entorno.

### 4.2 Sección

La pasarela, además de garantizar el paso de los peatones ha de proporcionar el paso de servicios; 3 $\varnothing$ 200 de conducción eléctrica,  $\varnothing$ 200 para conducción de gas,  $\varnothing$ 300 para abastecimiento de agua y  $\varnothing$ 400 para saneamiento.

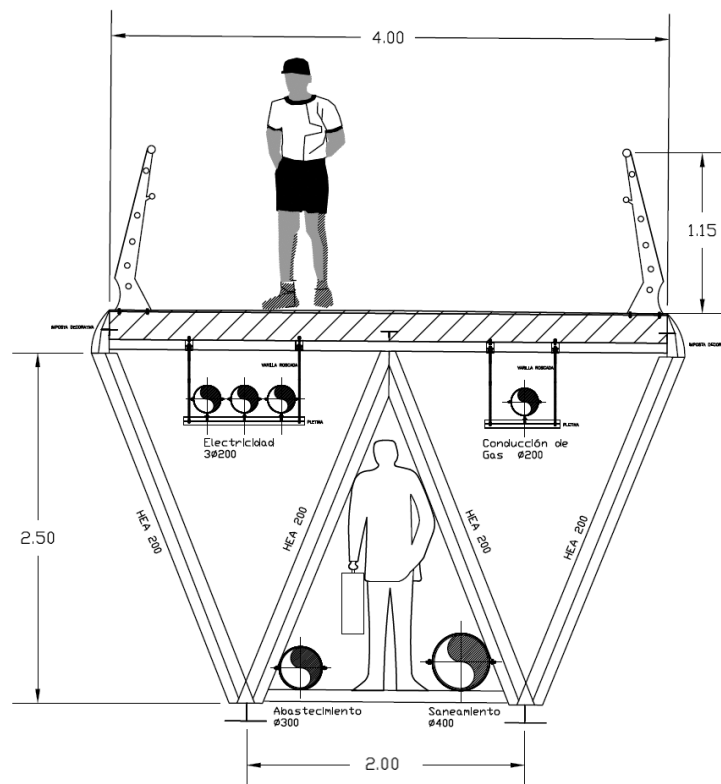


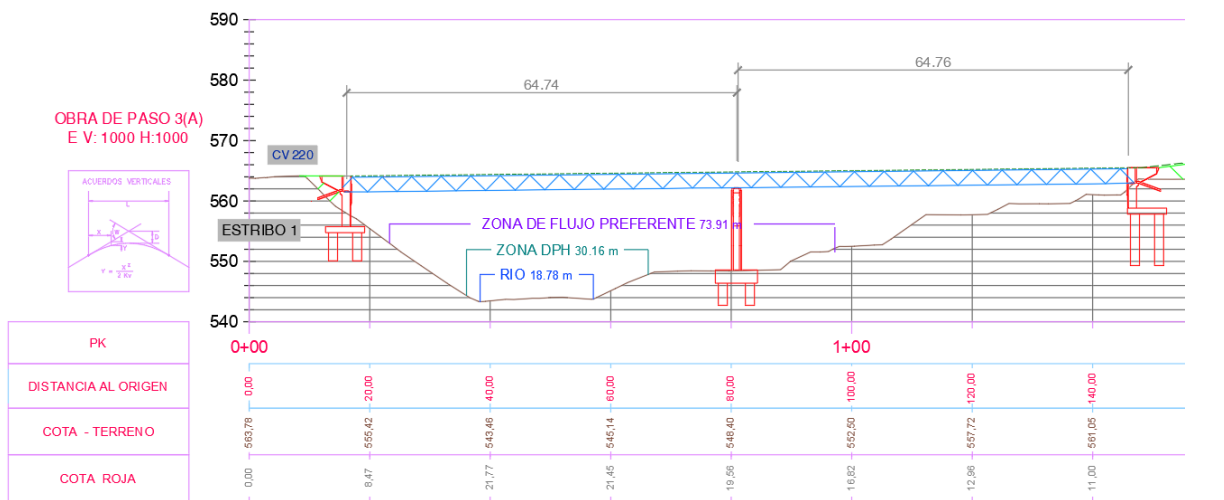
Figura 4-1 Sección solución adoptada



Además, se garantiza el paso en la zona inferior para personal de mantenimiento o servicios, se representa a un hombre de 1,80 con una maleta de herramientas. Para garantizar el paso del personal de mantenimiento se dispondrá de rejilla TRAMEX en la zona inferior, esta rejilla se dimensiona y se calcula en el anejo de cálculo, el tramo de malla obtenido es el “35x5” con distancia entre apoyos de 2,00 m.

### 4.3 Disposición

Como se muestra en la siguiente imagen la estructura de la pasarela solo cubre el desnivel producido por el río, los bancales de cultivos no son salvados, por lo que para esta solución será necesario la realización de un camino con pista de tierra que comunique el punto occidental con el punto más occidental de la estructura:



ALTERNATIVA ESCOGIDA (PENDIENTE MÁXIMA 2%)

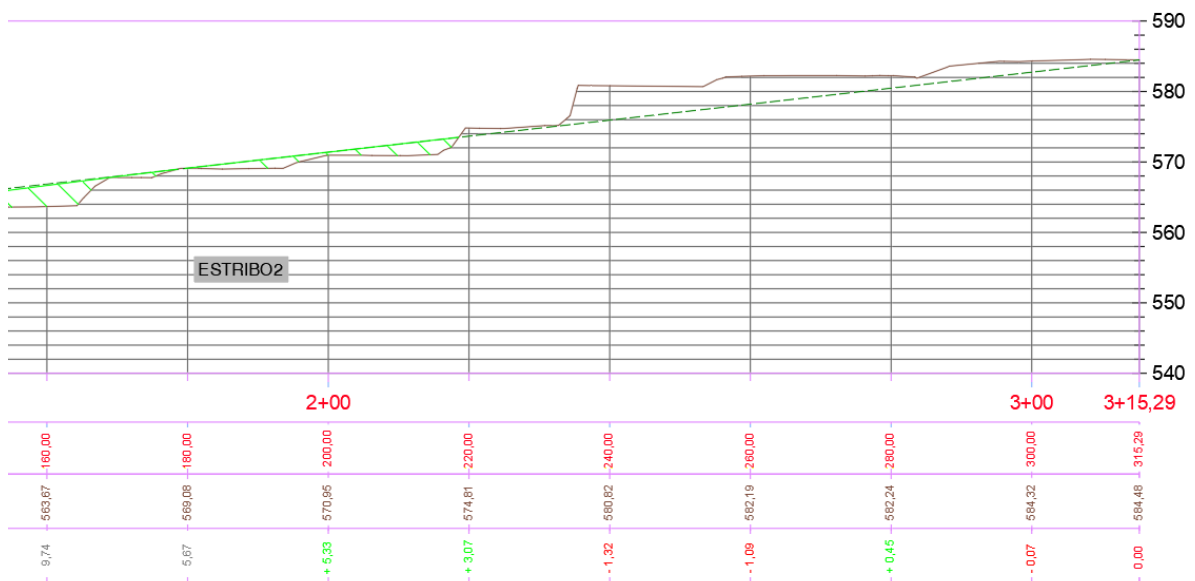


Figura 4-2 Disposición Solución Adoptada

En esta disposición planteada se han calculado unos movimientos de tierra aproximados para un camino de 4 metros de ancho de:

- Relleno: 349,2 m<sup>3</sup>
- Vaciado: 874,0 m<sup>3</sup>

De los 874,0 m<sup>3</sup> se sabe que aproximadamente 459,2 m<sup>3</sup> son procedentes de tierra vegetal y rellenos que no pueden ser aprovechados, por lo que quedan 414,80 m<sup>3</sup> que podemos emplear para el relleno, suponiendo una tasa de aprovechamiento del 85% esta se reduce a 352,58 m<sup>3</sup>.

Por lo tanto, no es necesario la adquisición de tierras de préstamo para la creación de la senda hasta el puente.

Con el objetivo de reducir la pendiente se deberá estudiar un trazado en zigzag que aumente el recorrido, pero mantenga el desnivel, reduciendo así también la pendiente. También será condicionante bordear la balsa de riego existente en el trazado pudiéndola bordear por la zona norte sin necesidad de demolición.

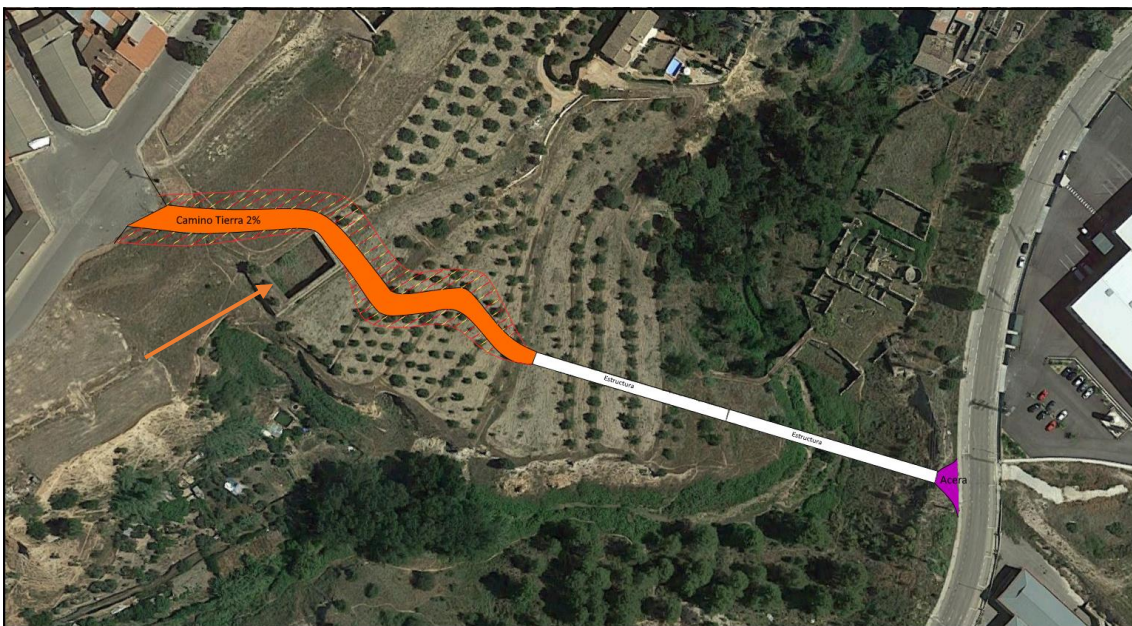


Figura 4-3 Condicionantes del trazado

#### 4.4 Senda de Acceso

La senda de acceso deberá tener una pendiente máxima del 2% para garantizar la accesibilidad de esta, esta senda de acceso se planteará de forma que se integre paisajísticamente con el entorno de Alcoy y brinde a los viandantes una ruta agradable y apta para deportistas.

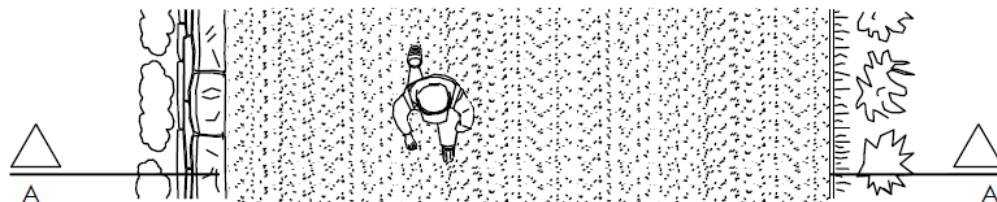
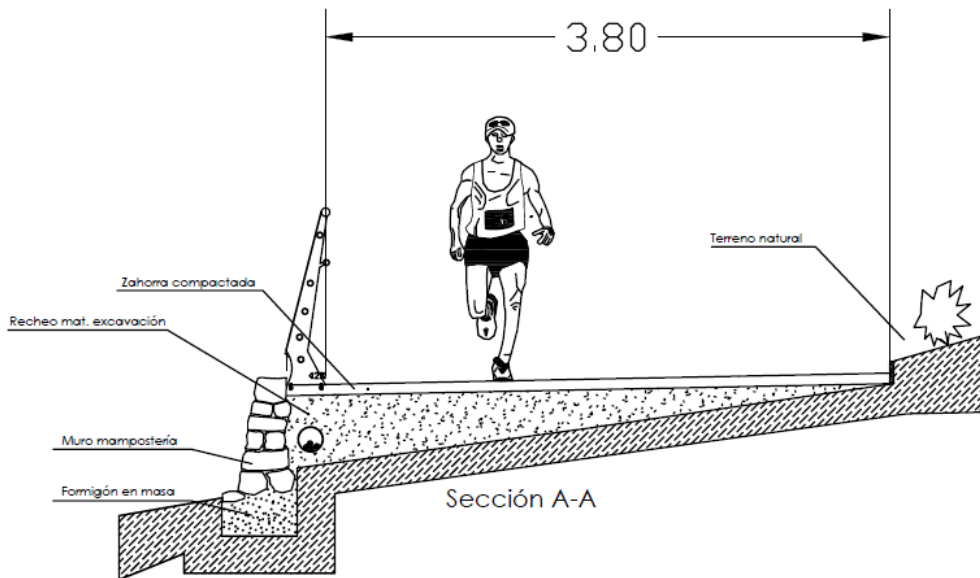


Figura 4-4 Sección Senda de Acceso

La senda aprovechará el terreno propio removido y tendrá unos acabados con mampostería en los muros de contención. En la capa de rodadura se dispondrá de una fina capa de rodadura compuesta de zahorra compactada.

Bajo la senda se hará pasar un tubo de instalación eléctrica para la iluminación de la propia senda, así como la del puente. El paso de servicios se hará que ha de garantizarse se realizará de forma directa, oculta y por una zona aparte a la senda.

#### 4.4.1 Equipamientos

La senda dispondrá de los mismos equipamientos que el puente, en el apartado lumínico dispondrá de farolas de “Metalgreen” con luminarias SIGNUM Villa 25W cada 20 metros en disposición par:

# Metalgreen

**Material:** Tubo de acero de 3030 x 120 x 120 x 4 revestido con placas de gres porcelánico rectificado. Luminaria, de acero zincado pintado y metacrilato.

**Peso:** 180 Kg.

**Sistema colocación:** Anclado con tornillos

**Otros:** Incluye placa de anclaje

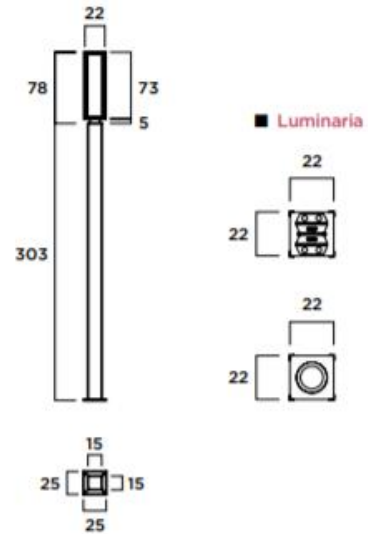
## ■ Luminaria de la Farola Metalgreen

Luminaria vial con protección S -01.

2 Carcasas y difusores de policarbonato, estancas con protección UV, con junta de estanqueidad de poliuretano , protección IP66 bandejas y chapa para la unión de las 2 carcasas de acero, lacadas en blanco, para dos tubos en cada una de las carcasas de 18 W.

Se incluye estructura de protección estanqueidad de chapa metacrilato entre ángulos de acero según detalles. Referencia: Alhamasan

Marcado CE / IP 66 / IK 03 / 850°C / RoHS

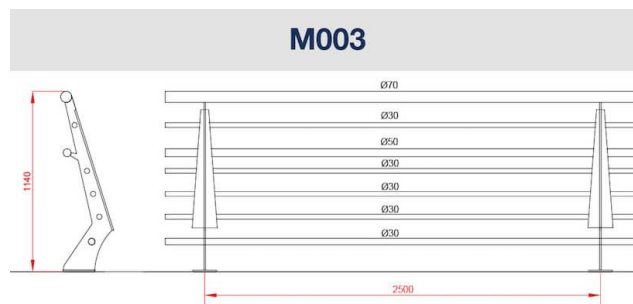


## Acabados, color-textura



Figura 4-5 Farola METALGREEN

Las barandillas que se emplearán serán las barandillas no escalables de Metalesa M003:



Peso aprox.: 15 kg/ml

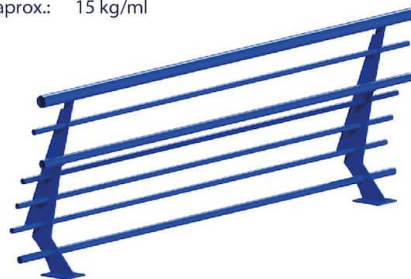


Figura 4-6 Barandilla M003 METALESA

Se emplazarán también de bancos urbanos de hormigón en U del fabricante “Sergin” compuesto por hormigón HA-400 de cemento blanco 52,5 R, con armadura B500S de acabado liso, estos bancos tienen un peso aproximado de 600 kg y un acabado liso.

## Banco urbano de hormigón Mod. U

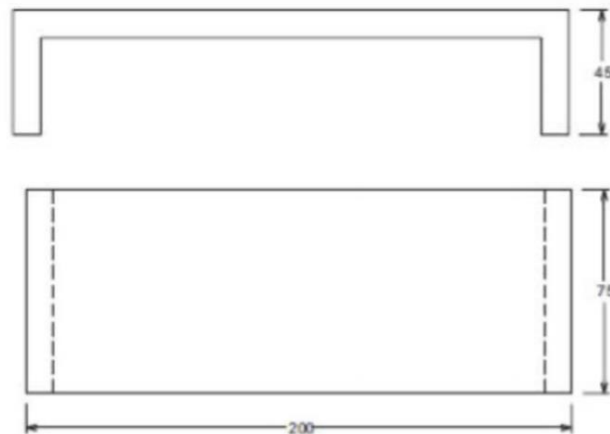
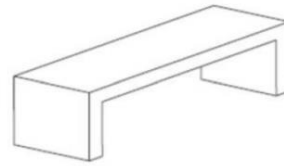


Figura 4-7 Banco en U de Hormigón

### 4.4.2 Flora

Como se ha comentado previamente la senda ha de adaptarse al entorno, es por ello por lo que para la botánica de la senda se estudia y se decide emplear la flora autóctona de la zona, la cual está compuesta principalmente por:

- **Quercus ilex, Subespecie rotundifolia:** La encina o carrasca es un árbol perennifolio de distribución mediterránea occidental que forma bosques monoespecíficos (encinares) o bosques mixtos con pinos y quejigos.



Figura 4-8 Quercus ilex, Subespecie rotundifolia



- **Quercus faginea:** El quejigo es un árbol caducifolio marcescente de distribución mediterránea occidental que forma parte de bosques caducifolios o mixtos con encinas, arces y pinos en áreas frescas del interior y norte de Alicante.



Figura 4-9 Quercus faginea

- **Acer Opalus, Subespecie granatense:** El arce orón es un árbol de distribución mediterránea occidental que forma parte de los bosques mixtos de las umbrías en las montañas del norte de Alicante.



Figura 4-10 Acer Opalus, Subespecie granatense

- **Fraxinus ornus:** El fresno de flor es un árbol de distribución mediterránea septentrional que forma parte de los encinares y bosques mixtos, preferentemente en zonas de umbría y barrancos, en el norte de Alicante.



Figura 4-11 *Fraxinus ornus*

- **Sorbus aria:** El mostajo es un árbol de distribución paleotemplada que forma parte del bosque mixto del piso mesomediterráneo superior al supramediterráneo en las montañas del norte de Alicante.



Figura 4-12 *Sorbus aria*

- **Crataegus monogyna:** El espino albar o cerezo de pastor es un árbol de distribución paleotemplada que crece en las orlas espinosas de los bosques mixtos del norte de Alicante.



*Figura 4-13 Crataegus monogyna*

- **Prunus spinosa:** El matacandil es una planta anual de distribución paleotemplada que crece en herbazales nitrófilos.



*Figura 4-14 Prunus Spinosa*



## 5 Anejo de Cálculo y Análisis

### 5.1 Descripción

---

En este anejo se detalla los resultados y procedimientos realizados para el dimensionamiento y la comprobación de la estructura a los Estados Límites de Servicios (ELS) y a los Estados Límites Últimos.

### 5.2 Evolución

---

Lo primero que se realizó para el cálculo de la estructura es una estimación mediante un programa realizado en el programa Microsoft Excel 2016 de la ley de momentos y cortantes que soportará la estructura. Para ello se estimó un peso propio en función de propuestas similares ya existentes y una sobrecarga verticalmente uniformemente distribuida de  $5 \text{ kN/m}^2$  en toda la superficie y una carga horizontal de valor máximo del 10% de la carga uniforme actuando en el eje del tablero, como dicta la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11).

Tras esto se obtienen unos valores aproximados con el área de acero necesaria para la zona traccionada y comprimida. Con estos valores podemos realizar un primer predimensionamiento que aplicaremos en el siguiente programa, SAP 2000 v.22.

### 5.3 Normativa

---

Para el diseño de esta pasarela peatonal recurriremos a la normativa vigente aplicable al cálculo, estas se agrupan en:

#### 1. ACCIONES

- a. **Norma IAP-11.** Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera. En esta normativa se contemplan las acciones sobre pasarelas peatonales.
- b. **Eurocódigo 1.** Acciones de Estructura.
- c. **Puentes (NCSP-07).** Norma de construcción Sismorresistentes.

## 2. PASARELAS MIXTAS

- a. **Eurocódigo 4.** Proyecto de estructuras mixtas.
- b. **RPX-95.** Recomendación para el proyecto de puentes mixtos para carreteras.

## 3. CIMENTACIONES

- a. **EHE-08.** Instrucción del Hormigón Estructural para las estructuras de hormigón armado.
- b. **Guía de cimentaciones en Obra de Carreteras,** Ministerio de fomento (2003)
- c. **Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obra de carretera,** Ministerio de Fomento (2005).

## 5.4 Acciones

---

En este apartado se detallarán todas las acciones que se tendrán en cuenta para el cálculo y diseño de la pasarela peatonal, las cuales son:

1. Acciones Permanentes.
2. Sobrecarga de Uso.
3. Acciones Térmicas.
4. Acciones de Viento.
5. Acciones Sísmicas.

### 5.4.1 Acciones permanentes.

---

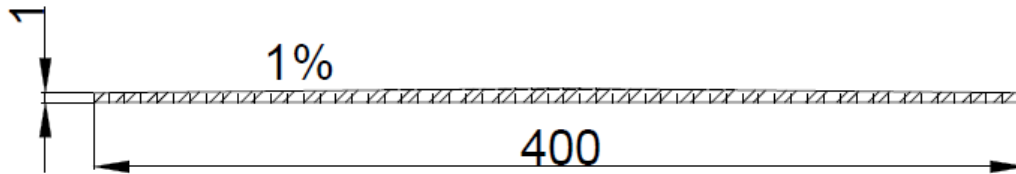
Las acciones permanentes son las cargas propias de la edificación, tales como el peso propio de la estructura, sus cerramientos interiores o exteriores, carpinterías, instalaciones y las acciones del terreno sobre el cual está construido.

Para el cálculo del peso propio de la pasarela se ha tenido en cuenta el peso de los perfiles metálicos empleados, el peso del pavimento de la calzada, pesos de la barandilla, así como el peso de las conducciones de servicios que la pasarela ha de soportar.

Lo primero que tendremos en cuenta para el cálculo de los pesos de la superestructura ser la losa de hormigón, pues esta será conocida desde el principio, conociendo el ancho del tablero y el canto de la misma losa. T: 4 metros, h: 0,25 metros, peso específico del hormigón 25 kN/m<sup>3</sup>.

- Peso por metro de la losa de hormigón:  $4 \times 0,20 \times 25$ : **20 kN/m**

- El peso de la capa de rodadura viene dado por la anchura del tablero y 1 centímetros de pavimento con una pendiente central descendente del 1% para facilitar el desagüe de las aguas de lluvias. Para este caso emplearemos un hormigón asfáltico de 22 kN/m<sup>3</sup>.



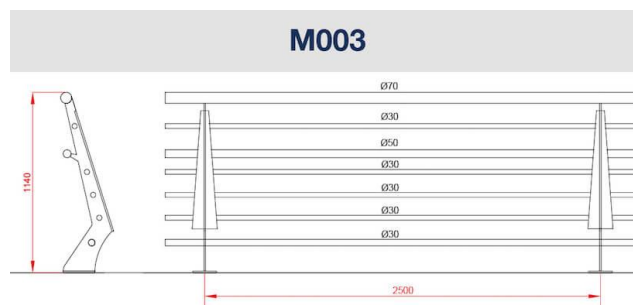
**Área Total: 0,08 m<sup>2</sup>**

*Figura 5-1 Área capa de rodadura*

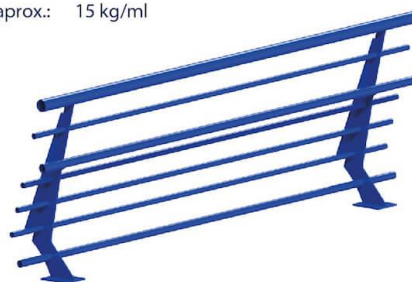
Por lo tanto, el peso por metro de la estructura viene dado por el área por el peso específico de 22 kN/m<sup>3</sup>.  $22 \times 0,08 = 1,76$ .

Tomamos entonces como valor: **1,76 kN/m**

- El siguiente elemento a tener en cuenta para la carga de pesos permanentes es la barandilla, se ha optado por una barandilla escalable puesto que visualmente mantiene la linealidad del conjunto de la pasarela. Del catalogo de METALESA se obtiene el modelo de barandilla M003.



Peso aprox.: 15 kg/ml



*Figura 5-2 Barandilla M003 METALESA*

De las barandillas obtenemos entonces una carga de 0,15 kN/m, pero a esta carga le vamos a añadir de forma repartida las disposiciones de las farolas. Para ello lo primero que realizamos es la búsqueda de un modelo que se adapte con la estética de líneas simples y rectas del puente.

Del catálogo de METALGREEN obtenemos unas farolas de estética simple y livianas que se adaptan a la estética global del puente.

## Metalgreen

**Material:** Tubo de acero de 3030 x 120 x 120 x 4 revestido con placas de gres porcelánico rectificado. Luminaria, de acero zincado pintado y metacrilato.

**Peso:** 180 Kg.

**Sistema colocación:** Anclado con tornillos

**Otros:** Incluye placa de anclaje

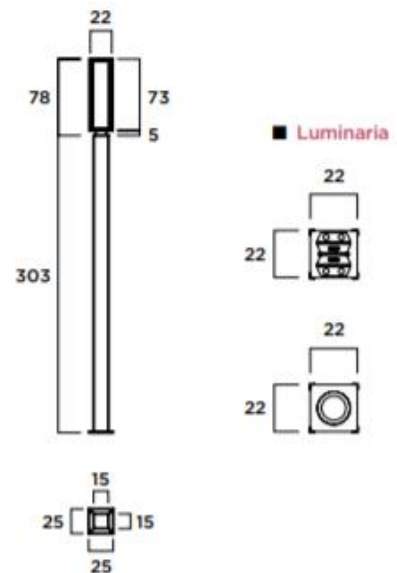
### ■ Luminaria de la Farola Metalgreen

Luminaria vial con protección S -01.

2 Carcasas y difusores de policarbonato, estancas con protección UV, con junta de estanqueidad de poliuretano , protección IP66 bandejas y chapa para la unión de las 2 carcasas de acero, lacadas en blanco, para dos tubos en cada una de las carcasas de 18 W.

Se incluye estructura de protección estanqueidad de chapa metacrilato entre ángulos de acero según detalles. Referencia: Alhamasan

Marcado CE / IP 66 / IK 03 / 850°C / RoHS



### Acabados, color-textura



**Metalgreen**  
(Consulte opciones de acabado)

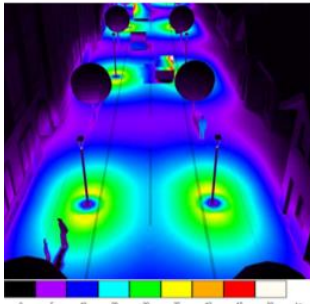
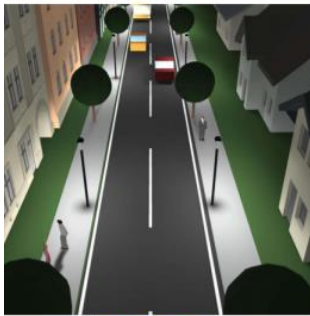
Figura 5-3 Datos Técnicos Farola METALGREEN

Falta determinar el número de farolas necesarias, así como el tipo luminarias para la correcta iluminación del puente, para ellos, en el catálogo de AIRISLED nos encontramos con un pequeño estudio para una vía poco transitada de 4 a 10 metros de calzada que podemos extrapolar a nuestro caso.

Con este estudio podemos determinar que el número de iluminarías para cada lateral del puente será de 3, siguiendo una disposición bilateral enfrentada cada 20 metros. De esta forma y con la luminaria SIGNUM Villa 25 W cumplimos con los requisitos de iluminancia mínima y media exigidos.

Por lo tanto, el peso a repartir es de 6 farolas de 180 kg (1,8 kN) a repartir en los 64,80 metros del puente, lo cual son 0,17 kN/m, que sumados a la barandilla da un total de: **0,32 kN/m**.

## Calle Residencial Villa



Clase de Alumbrado	Calzada S1 / Aceras S1
Tipo	Flujo de tráfico moderado - Peatonal
Área	Calzada de 4m
Disposición	Bilateral enfrentado
Separación Postes	20m
Altura luminaria	4m
Luminaria	SIGNUM Villa 25W
Factor de mantenimiento	0,85

Resultados Luminotécnicos	$E_m$ [lux] <sup>(1)</sup>	$E_{min}$ [lux] <sup>(2)</sup>
Exigidos S1 - Calzada	≤ 15	≥ 5
Resultados Calzada	15,39	6,47
Exigidos S1 - Aceras	≤ 15	≥ 5
Resultados Aceras	15,02	5,36

<sup>(1)</sup>  $E_m$  [lux]: Iluminancia media mantenida (mínimo)  
<sup>(2)</sup>  $E_{min}$  [lux]: Iluminancia mínima (mínimo)

Figura 5-4 Estudio luminotécnico de AIRISLED

- La carga debida a los servicios se desconoce, por lo que se realiza una aproximación. Se sabe que dos de los servicios son hídricos, uno de abastecimiento de 300Ø y una de saneamiento de 400Ø, suponemos carga máxima en los dos, el cual nos da 0,7 kN/m en el de abastecimiento y 1,257 kN/m en el de Saneamiento, dándonos un total de 1,96 kN/m. Este valor lo multiplicamos por dos para representar el resto de los servicios que desconocemos, 3,92 kN/m. Redondeamos al alza: **4 kN/m**.

Acciones permanentes	
Acción	Carga (kN/m)
Losa Hormigón	20
Capa rodadura	1,76
Barandilla y Farolas	0,32
Servicios	4
<b>TOTAL</b>	<b>25,78</b>

Tabla 10 Tabla Acciones permanentes salvo Peso Propio

### 5.4.2 Sobrecargas de Uso.

La sobrecarga de uso es el peso de todo aquello que pudiera gravitar sobre la estructura por su razón de uso. Para la definición de todas las acciones que puedan transcurrir sobre nuestra pasarela recurriremos a la normativa IAP-11 la cual considera la acción simultanea de las siguientes cargas:

- Una carga vertical uniformemente distribuida de valor igual a  $5\text{kN/m}^2$  en toda la superficie.
- Una carga horizontal de valor máximo igual al 10% de la carga uniformemente distribuida, actuando en el eje del tablero y a nivel del pavimento.

Ambas cargas se considerarán como una única carga, de valor característico de sobrecarga de uso cuando se combina con otro tipo de cargas.

Debemos tener en cuenta el paso de vehículos como una carga de tipo accidental, el cual quedará como una sobrecarga con dos ejes separados longitudinalmente 3 metros, el primer eje lleva una carga de 40 kN y el segundo de 80 kN, las ruedas para cada eje están separadas 1,30 metros con un área cuadrada de 0,2 metros para cada una. Estas condiciones simulan una fuerza de frenado igual al 60% de la carga vertical.

Aunque siguiendo la normativa del IAP-11 consideraremos un vehículo pesado que pueda representar el paso de un vehículo de emergencia como pueda ser una ambulancia o bomberos, este vehículo pesado será de 20 Tn, lo cual es más conservador que lo anterior propuesto. Siguiendo el principio de Saint-Venant que dice que:

*“En puntos suficientemente alejados de la zona del contorno en que se aplican, dos distribuciones distintas, pero estáticamente equivalentes de fuerzas de superficie producen prácticamente los mismos desplazamientos, tensiones y deformaciones”*

En consecuencia, nos permite sustituir una distribución de cargas por otra estáticamente equivalente, por lo tanto, aplicamos la carga correspondiente en la zona más desfavorable, para ello aplicamos dos cargas de 100 kN en la zona central de la luz y del tablero donde los perfiles transversales están en una disposición más desfavorable.

Aunque el paso de vehículos no estará permitido en la pasarela, únicamente se prevé para situaciones en los que sea necesario vehículos de emergencia o servicios, es por ello que el paso estará bloqueado por elementos de mobiliario urbano móviles o extraíbles para el control de paso de vehículos.

Otro punto para tener en cuenta son las acciones asociadas a la barandilla, la cual para nuestro caso no se esperan aglomeraciones de gente por lo que se considerara una fuerza horizontal sobre el borde superior del elemento de  $0,8\text{ kN/m}$ .

### 5.4.3 Acciones Térmicas

A efectos de aplicación en la instrucción (IAP-11 apartado 4.3), para evaluar el efecto de la acción térmica se consideran diferentes tipos de tablero:

- Tipo 1: Tablero de acero con sección Transversal en cajón, viga armada o celosía.
- Tipo 2: Tablero Mixto compuesto por acero estructural y hormigón armado.
- Tipo 3: Tablero de hormigón armado o pretensado, losa, viga o cajones.

Para el Tipo II también se considera el hormigón pretensado. Los valores representativos de la acción térmica se evaluarán considerando la componente uniforme de temperatura y las componentes de la diferencia de temperatura vertical y horizontal. Para nuestro caso trabajaremos con tablero **Tipo II**.

Para calcular los efectos de la componente uniforme de temperatura se tendrá como base el valor de la temperatura del aire a la sombra en el lugar de emplazamiento del puente.

El valor característico de la temperatura máxima del aire a la sombra ( $T_{max}$ ) depende del clima del lugar y de su altitud, en un periodo de retorno de 50 años. Estos datos se muestran en el siguiente mapa de isotermas (*Figura 1-1*):

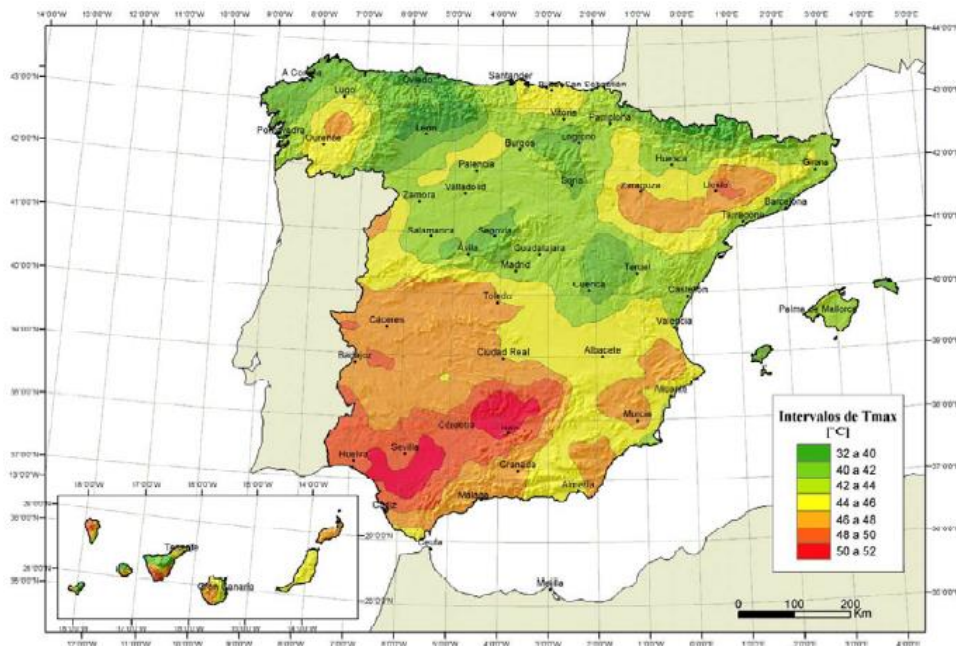


Figura 5-5. Mapa de isotermas correspondiente al IAP-11 4.3-a

El valor característico de la temperatura mínima del aire a la sombra ( $T_{min}$ ) se tomará también para un periodo de retorno de 50 años en función de la altitud del emplazamiento y de la zona climática invernal que se obtiene de la *Figura 1-2*.



Figura 5-6 Zonas climáticas invierno, IAP-11 4.3-b

En estos mapas apreciamos que la localidad de Alcoy se encuentra en la Zona climática invernal 5, y en temperatura máxima se encuentra entre 45-48 °C. Conociendo estos datos y con la Altitud de la ciudad de Alcoy (562 msnm) podemos obtener la temperatura mínima anual del aire:

Altitud [m]	Zona de clima invernal (según figura 4.3-b)						
	1	2	3	4	5	6	7
0	-7	-11	-11	-6	-5	-6	6
200	-10	-13	-12	-8	-8	-8	5
400	-12	-15	-14	-10	-11	-9	3
600	-15	-16	-15	-12	-14	-11	2
800	-18	-18	-17	-14	-17	-13	0
1000	-20	-20	-19	-16	-20	-14	-2
1200	-23	-21	-20	-18	-23	-16	-3
1400	-26	-23	-22	-20	-26	-17	-5
1600	-28	-25	-23	-22	-29	-19	-7
1800	-31	-26	-25	-24	-32	-21	-8
2000	-33	-28	-27	-26	-35	-22	-10

Tabla 11-1 Temperatura mínima anual del aire. IAP-11 4.3-a

La temperatura mínima que encontramos para la localidad de Alcoy es de -14 °C (Hemos tomado como altitud 600 metros)



#### 5.4.4 Acciones de Viento

La carga del viento se tratará como una carga estática equivalente siguiendo las indicaciones en la IAP-11. Para la obtención de esta carga se seguirán las indicaciones de los apartados 4.2.1 a 4.2.8 de la citada norma.

Para el cálculo primero deberemos obtener la velocidad básica del viento y su velocidad media, teniendo en cuenta la dirección y el empuje de sobre el tablero, como el objeto de estudio de este proyecto básico es la pasarela metálica se obviará la acción del viento sobre las pilas de este.

##### 5.4.4.1 Velocidad básica del viento

La velocidad básica fundamental del viento ( $Vb_0$ ) es la velocidad media a lo largo de un periodo de 10 minutos con un periodo de retorno T de 50 años independientemente de la dirección del viento y de la época del año medido en una zona plana y desprotegida frente al viento.

Con la velocidad básica fundamental del viento se obtiene la velocidad básica:

$$vb = C_{dir} * C_{Season} * Vb_0$$

- $vb$  Velocidad básica del viento para un periodo de retorno 50 años [m/s].
- $C_{dir}$  Factor direccional del viento que a falta de estudios más precisos se tomará como valor 1,0.
- $C_{Season}$  Factor estacional del viento que a falta de estudios más precisos se tomará como valor 1,0.
- $Vb_0$  Velocidad básica fundamental del viento [m/s] según el mapa de isostáticas (figura 1-3)



Figura 5-7. Mapa de isotacas correspondiente al Código Técnico de la Edificación.

Nuestra zona de estudio, Alcoy, se encuentra en la zona B, por lo que la velocidad básica fundamental que se tendrá en cuenta es de 27 m/s, como todos los demás parámetros se tomarán como valor 1,0 la velocidad básica del viento ( $vb$ ) será igual a 27 m/s.

#### 5.4.4.2 Velocidad media del viento

La velocidad media del viento  $V_m(z)$  a una altura  $z$  sobre el terreno dependerá de la rugosidad del terreno, de la topografía y de la velocidad básica del viento  $vb$  y se determina según la siguiente expresión:

$$V_m(z) = C_r(z) * C_0 * vb(T)$$

- $vb(T)$  velocidad básica del viento [m/s] para un periodo de retorno en nuestro caso de 50 años.
- $C_0$  factor de topografía, al tratarse de un encauzamiento del viento actuando sobre un puente este valor se tomará como 1,10.
- $C_r(z)$  factor de rugosidad obtenida de la siguiente fórmula:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z \geq z_{min}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{para } z < z_{min}$$

- $Z$  altura del punto de aplicación del empuje de viento respecto el nivel mínimo del agua bajo el puente, el cual en nuestro caso es 18,20 metros.
- $K_r$  factor del terreno con valor 0,216 obtenido de la *tabla 1.4.1*.
- $Z_0$  Longitud de la rugosidad con valor 0,30 m obtenido de la *tabla 1.4.1*.
- $Z_{min}$  Altura mínima con valor 5 m, obtenido de la *tabla 1.4*.

Con el fin de calcular los parámetros previos debemos evaluar el entorno de actuación de nuestra zona de proyecto, nos encontramos con una clasificación de 5 entornos:

- **Tipo 0:** Mar o zona costera expuesta al mar abierto.
- **Tipo I:** Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos.
- **Tipo II:** Zona rural con vegetación baja y obstáculos aislados, con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos.
- **Tipo III:** Zona suburbana, forestal o industrial con construcciones y obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de obstáculos.

- **Tipo IV:** Zona urbana en la que al menos el 15% de la superficie esté edificada y la altura media de los edificios exceda de 15 metros.

El entorno de actuación de nuestro proyecto se encuentra en un entorno suburbano a las afueras de la localidad de Alcoy, uniendo una zona industrial con edificios de poca elevación con una zona urbana con una densidad baja donde los edificios de la zona raramente alcanzan los dos pisos de altura.

Por lo tanto, optamos por un entorno **Tipo III** puesto que la localización exacta de la obra se encuentra relativamente aislada de obstáculos y el entorno es una zona suburbana.

Con este tipo de entorno podemos obtener los datos previamente explicados:

Tipo de entorno	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0	0,156	0,003	1
I	0,170	0,01	1
II	0,190	0,05	2
III	0,216	0,30	5
IV	0,235	1,00	10

Tabla 5-2. Tabla de Coeficientes  $k_r$ ,  $Z_0$  y  $Z_{min}$  obtenido del Código Técnico de la Edificación.

Dicho esto, podemos calcular  $C_r$ , en nuestro caso como 18,20 metros > 5 metros ( $Z_{min}$ ) debemos emplear la ecuación logarítmica para su cálculo. Lo cual nos da un resultado de 0,886. Lo cual, aplicado a la fórmula  $v_m(z) = c_r(z) c_o v_b(T) = 0,886 * 1.10 * 27 = 26,314 \text{ m/s}$ .

#### 5.4.4.3 Empuje del viento sobre tableros

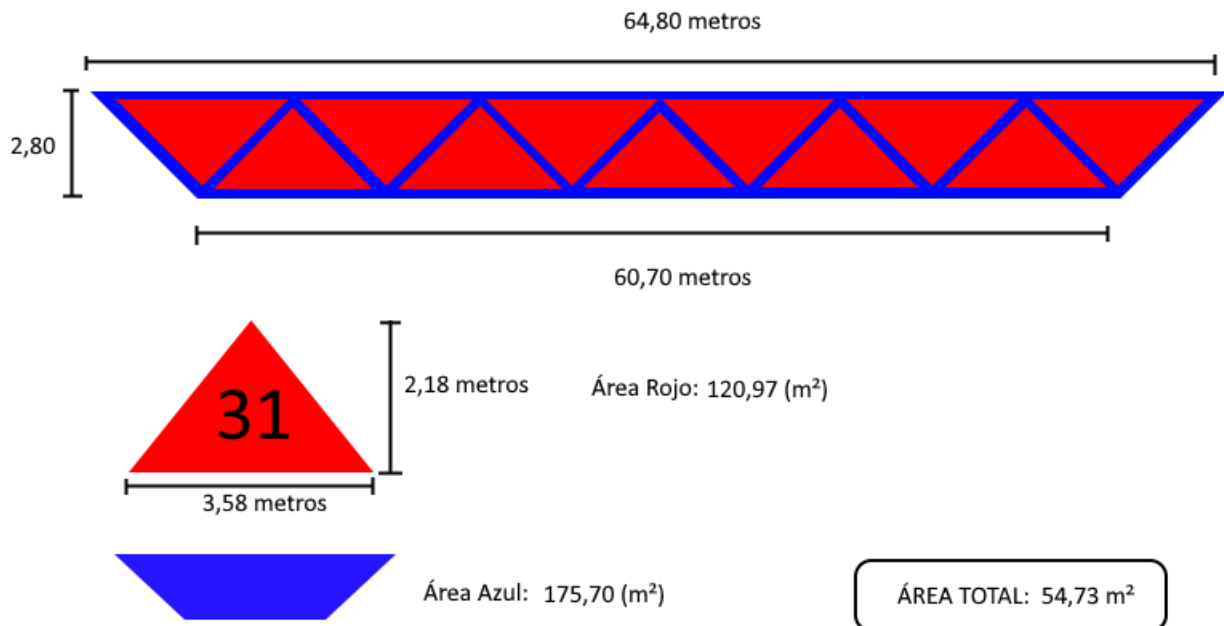
Debemos tener en cuenta las acciones del viento, pudiéndose ser este transversal al tablero haciendo horizontal, vertical y el empuje por el viento longitudinal.

El empuje transversal del viento sobre el tablero de celosía se calculará en función del área sólida expuesta al viento. Los elementos de contención como las barandillas si son permeables al paso del aire el empuje que soportan y transmiten se calculará de forma independiente como indica el apartado 4.2.7 de la IAP-11.

Las sobrecargas de uso se tendrán en cuenta, para el cálculo del empuje horizontal de viento, de la misma forma en los tableros de alma llena, sin reducir su área sólida expuesta por la presencia de las celosías, aunque el tablero esté embebido en las propias celosías.

El coeficiente de fuerza dependerá de la sección de los perfiles de la celosía, nuestros perfiles serán con caras planas, por lo que como coeficiente se empleará 1,8.  $C_{f,x}=1,8$ .

Para calcular el área que ofrece resistencia al viento calculamos el área total de la pasarela descontando las zonas de paso libre del aire:



Con esto ya tenemos el área de referencia, que junto con la presión básica del viento podemos aplicar la siguiente fórmula para calcular finalmente el empuje a falta del coeficiente de exposición:

$$F_w = \frac{q_p}{w_e} c_e(z) c_f A_{ref}$$

Ahora únicamente nos quedaría calcular el coeficiente de exposición, como hemos comentado anteriormente nuestra Z es mayor a la Zmin de la norma, por lo tanto, la fórmula a emplear sería la siguiente:

$$c_e(z) = k_r^2 \left( c_o^2 \ln^2 \left( \frac{z}{z_0} \right) + 7 k_l c_o \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \right) \quad \text{si } z \geq z_{min}$$

Dando como resultado 2,87.  $C_e(z) = 2,87$ . El cálculo de  $q_p$  resulta algo trivial, pues su obtención se basa en una sencilla fórmula de velocidad y presión del aire:  $Q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2$ .  $Q_b = 346,21 \text{ N/m}^2$ .

Aplicándolo a la fórmula de  $F_w$  obtenemos que:

$$F_w = 346,21 \text{ N/m}^2 \cdot 2,87 \cdot 1,8 \cdot 54,73 \text{ m}^2 = 97,89 \text{ kN}$$

Repartido únicamente al área de las secciones nos da una distribución uniforme de:

$$Q_v = 1,78 \text{ kN/m}^2.$$

Sabemos que el orden de magnitud que se suele manejar para el cálculo de empujes de viento es de  $1 \text{ kN/m}^2$ , lo cual es ligeramente inferior al valor obtenido, aún así no debemos olvidar que el elemento de estudio se encuentra a aproximadamente 20 metros de altura en una zona donde se produce un encauzamiento del aire sin obstáculos, por lo tanto, el valor obtenido podemos catalogarlo como lógico.

Procedemos ahora al cálculo del empuje vertical, este se realiza sobre la dirección Z, en el sentido más desfavorable, igual a:

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

- $F_{w,z}$  Empuje vertical del viento (N).
- $\frac{1}{2} \rho v_b^2(T)$  Presión de la velocidad básica del viento ( $\text{N/m}^2$ ).
- $C_e(z)$  Coeficiente de exposición.
- $C_{f,z}$  Coeficiente de fuerza en dirección vertical Z, igual a  $\pm 0,9$ .
- $A_{ref,z}$  Área en planta del tablero ( $\text{m}^2$ ).

El área de referencia para este cálculo es igual a la longitud del tablero por su ancho, el cual son 64,80 metros por 4,16 metros, lo cual nos da un área total de  $269,57 \text{ m}^2$ . El coeficiente de exposición es igual a 2,0 por ser el tablero del puente un elemento pantalla.

$$F_{w,z} = [338 \text{ N/m}^2] \cdot 2,0 \cdot \pm 0,90 \cdot 269,57 \text{ m}^2$$

$$F_{w,z} = \pm 164 \text{ kN}$$

Repartido únicamente al área de las secciones nos da una distribución uniforme de:

$$Q_{v,z} = \pm 0,608 \text{ kN/m}^2.$$

Por último, tenemos el empuje ocasionado por el viento longitudinal, el cual en nuestro caso (según la IAP-11 4.2.5.2) corresponde a la fracción del 50% del empuje transversal multiplicado por un coeficiente reductor definido por la siguiente expresión:

$$1 - \left[ \frac{7}{c_o \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) + 7} \right] \Phi[L/L(z)]$$

$$\Phi[L/L(z)] = 0,230 + 0,182 \ln[L/L(z)]$$

$$\text{siendo: } 0 \leq \Phi[L/L(z)] \leq 1$$

- $C_o$  Factor de topografía, nuestro caso 1,10 por encauzamiento.
- $L$  Longitud sobre la cual actúa el empuje longitudinal (m).
- $L(z)$  Longitud integral de la turbulencia.
- $Z$  Altura del punto de aplicación del empuje del viento respecto del terreno.
- $Z_o, Z_{min}$  Coeficientes de la *Tabla 1.4.1*.
- $A$  Coeficiente definido en la *Tabla 1.4.2*.

$$L(z) = \begin{cases} 300(z_{min}/200)^\alpha & \text{para } z < z_{min} \\ 300(z/200)^\alpha & \text{para } z_{min} \leq z \leq 200 \\ 300 & \text{para } z > 200 \end{cases}$$

Tipo de entorno	$\alpha$
0	0,38
I	0,44
II	0,52
III	0,61
IV	0,67

*Tabla 12.4.2 Tabla de Coeficientes según entorno*

Para el cálculo de  $L(z)$ , al ser nuestra  $Z$  (18,40 metros)  $> Z_{min}$  (5 metros), pero menor de 200, empleamos  $L(Z) = 300\left(\frac{18,40}{200}\right)^\alpha$  donde  $\alpha = 0,61$  (Entorno III, *Tabla 1.4.2*), dando como resultado

$$L(Z) = 69,98$$

$$\phi[L(L(z))] = 0,230 + 0,182 * \ln\left[\frac{64,80}{69,98}\right] = 0,216$$

El factor de reducción esta comprendido entre 0 y 1 como dicta la norma, con todos estos datos podemos sacar el factor de reducción total que aplicaremos al 50% del empuje transversal ( $0,5 * 1,78 \text{ kN/m}^2 = 0,89 \text{ kN/m}^2$ ).

$$1 - \left[ \frac{7}{1,10 * \ln\left(\frac{18,40}{0,30}\right) + 7} \right] * 0,216 = 0,868$$

$$Q_{v,x} = 0,89 \text{ kN/m}^2 * 0,868 = \mathbf{0,77 \text{ kN/m}^2}$$

Los efectos Aeroelásticos no requieren comprobación puesto que se cumple que la luz del puente es menor de 80 metros y la frecuencia fundamental de flexión vertical es mayor a 2 Hz. Aunque es caso de ser menor de 2 Hz esta requería un estudio específico.

Queda entonces cerrado el apartado de cálculo de cargas por acciones del viento:

- Empuje Transversal:  $Q_{v,y} = \mathbf{1,78 \text{ kN/m}^2}$ .
- Empuje Vertical:  $Q_{v,z} = \pm \mathbf{0,608 \text{ kN/m}^2}$ .
- Empuje Longitudinal:  $Q_{v,x} = \mathbf{0,77 \text{ kN/m}^2}$

## 5.5 Estados Limites Últimos

---

De acuerdo con la normativa aplicable, en las situaciones de cálculo se debe tener en cuenta la probabilidad de que cada una de ellas actúe con su valor más desfavorable, para ello se definen las combinaciones de acciones, los coeficientes parciales de seguridad y los coeficientes de simultaneidad para las siguientes combinaciones:

- Situaciones de cálculo con cargas persistentes y transitorias:

$$\sum \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q_{1+} \sum \gamma_Q \times \psi_0 \times Q$$

- En situaciones de cálculo accidentales:

$$\sum \gamma_G \times G + \gamma_A \times A + \gamma_Q \times \psi_1 \times Q_{1+} \sum \gamma_Q \times \psi_2 \times Q$$

G: Valor característico de las acciones permanentes.

$Q_1$ : Valor característico de la acción variable dominante en la situación de cálculo considerada

Q: Valor característico del resto de las acciones variables.

A: Valor característico de la acción accidental.

$\psi_0, \psi_1, \psi_2$ : Coeficientes de simultaneidad.

$\gamma_G, \gamma_Q, \gamma_A$ : Coeficientes parciales de seguridad.

Para las pasarelas se pueden resumir los coeficientes  $\psi$  de simultaneidad según la normativa "IAP-11" 2001 en:

Acción	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Sobrecarga de Uso	0,4	0,4	0,0
Viento	0,3	0,2	0,0
Acción Térmica	0,6	0,6	0,5
Nieve	0,8	0,0	0,0
Acción del Agua	1,0	1,0	1,0
Sobrecarga Construcción	1,0	0,0	0,0

### 5.5.1 Combinaciones ELU

Se realizan todas las combinaciones de acciones posibles para las cargas dispuestas y se genera una envolvente ELU que nos servirá para verificar y comprobar la resistencia de nuestra estructura.

A continuación de muestran todas las combinaciones:

ELU_01	DEAD	1,35
ELU_01	Peso Barandilla	1,35
ELU_01	Peso Calzada	1,35
ELU_01	Sobrecarga Uso	0
ELU_01	vehículo	0
ELU_01	Viento Longitudinal	0
ELU_01	Viento Transversal	0
ELU_01	Viento Vertical Ascendente	0
ELU_01	Viento Vertical Descendente	0

Combinación ELU 1



ELU_02	DEAD	1,35
ELU_02	Peso Barandilla	1,35
ELU_02	Peso Calzada	1,35
ELU_02	Sobrecarga Uso	1,5
ELU_02	vehículo	0
ELU_02	Viento Longitudinal	0
ELU_02	Viento Transversal	0
ELU_02	Viento Vertical Ascendente	0
ELU_02	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELU 2*

ELU_03	DEAD	1,35
ELU_03	Peso Barandilla	1,35
ELU_03	Peso Calzada	1,35
ELU_03	Sobrecarga Uso	1,5
ELU_03	vehículo	0
ELU_03	Viento Longitudinal	0
ELU_03	Viento Transversal	0,45
ELU_03	Viento Vertical Ascendente	0
ELU_03	Viento Vertical Descendente	0,45

*Combinación ELU 3*

ELU_04	DEAD	1,35
ELU_04	Peso Barandilla	1,35
ELU_04	Peso Calzada	1,35
ELU_04	Sobrecarga Uso	0
ELU_04	vehículo	1,5
ELU_04	Viento Longitudinal	0
ELU_04	Viento Transversal	0
ELU_04	Viento Vertical Ascendente	0
ELU_04	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELU 4*

ELU_05	DEAD	1,35
ELU_05	Peso Barandilla	1,35
ELU_05	Peso Calzada	1,35
ELU_05	Sobrecarga Uso	0,6
ELU_05	vehículo	1,5
ELU_05	Viento Longitudinal	0
ELU_05	Viento Transversal	0
ELU_05	Viento Vertical Ascendente	0
ELU_05	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELU 5*

ELU_06	DEAD	1,35
ELU_06	Peso Barandilla	1,35
ELU_06	Peso Calzada	1,35
ELU_06	Sobrecarga Uso	1,5
ELU_06	vehículo	0
ELU_06	Viento Longitudinal	0,45
ELU_06	Viento Transversal	0
ELU_06	Viento Vertical Ascendente	0
ELU_06	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELU 6*

ELU_07	DEAD	1,35
ELU_07	Peso Barandilla	1,35
ELU_07	Peso Calzada	1,35
ELU_07	Sobrecarga Uso	1,5
ELU_07	vehículo	0
ELU_07	Viento Longitudinal	0
ELU_07	Viento Transversal	0,45
ELU_07	Viento Vertical Ascendente	0,45
ELU_07	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELU 7*

## 5.6 Estados Límites de Servicio

Un Estado Límite de Servicio (ELS) es un tipo de estado límite que, de ser rebasado, produce una pérdida de funcionalidad o deterioro de la estructura, pero no un riesgo inminente a corto plazo.

- Limitaciones a las deformaciones (Flechas)
- Limitaciones a las frecuencias propias de vibración para evitar vibraciones inadmisibles que pueden afectar a su desempeño.

La flecha correspondiente a la parte de la sobrecarga de combinación frecuente será igual o menor a  $L/1200$  en pasarelas peatonales y puentes urbanos con aceras accesibles. Teniendo en cuenta la luz de nuestro vano (64,80 metros) nuestra flecha máxima será de 0,054 metros. Esta flecha se calcula con la Sobrecarga de Uso con el coeficiente de combinación pertinente (0,4).

Las frecuencias debidas a la acción de los peatones oscilan entre 2 y 3,5 Hz, por lo tanto, nuestro objetivo será evitar que estas frecuencias coincidan con la frecuencia natural de la estructura.

### 5.6.1 Combinaciones Estado límite de Servicio

Se realizan las combinaciones para el Estado Límite de Servicio para las diferentes situaciones de combinación con el fin de obtener una envolvente, el cual nos servirá para verificar que la estructura cumple con las condiciones estéticas y funcionales.

ELS_01	DEAD	1
ELS_01	Peso Barandilla	1
ELS_01	Peso Calzada	1
ELS_01	Sobrecarga Uso	1
ELS_01	vehículo	0
ELS_01	Viento Longitudinal	0
ELS_01	Viento Transversal	0
ELS_01	Viento Vertical Ascendente	0
ELS_01	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELS 1*

ELS_02	DEAD	1
ELS_02	Peso Barandilla	1
ELS_02	Peso Calzada	1
ELS_02	Sobrecarga Uso	0,4
ELS_02	vehículo	1
ELS_02	Viento Longitudinal	0
ELS_02	Viento Transversal	0,3
ELS_02	Viento Vertical Ascendente	0
ELS_02	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELS 2*

ELS_03	DEAD	1
ELS_03	Peso Barandilla	1
ELS_03	Peso Calzada	1
ELS_03	Sobrecarga Uso	1
ELS_03	vehículo	0
ELS_03	Viento Longitudinal	0
ELS_03	Viento Transversal	0,4
ELS_03	Viento Vertical Ascendente	0,4
ELS_03	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELS 3*

ELS_04	DEAD	1
ELS_04	Peso Barandilla	1
ELS_04	Peso Calzada	1
ELS_04	Sobrecarga Uso	1
ELS_04	vehículo	0
ELS_04	Viento Longitudinal	0
ELS_04	Viento Transversal	0,4
ELS_04	Viento Vertical Ascendente	0
ELS_04	Viento Vertical Descendente	0,4

*Combinación ELS 4*

ELS_05	DEAD	1
ELS_05	Peso Barandilla	1
ELS_05	Peso Calzada	1
ELS_05	Sobrecarga Uso	0
ELS_05	vehículo	0
ELS_05	Viento Longitudinal	0
ELS_05	Viento Transversal	0
ELS_05	Viento Vertical Ascendente	0
ELS_05	Viento Vertical Descendente	0

*Combinación ELS 5*

## 5.7 Cálculo EXCEL

---

Se realiza un primer cálculo en Excel para obtener una aproximación a los esfuerzos, con estos datos podremos diseñar un primer diseño que tendremos que ir ajustando y ajustando a las distribuciones, esfuerzos y peso propio.

Los datos de partida con los que trabajamos son:

- L: Luz vano a vano de 64,80 metros.
- Tablero: 4 metros de ancho.
- Q: Carga total para el cálculo, estimamos  $12,50 \text{ kN/m}^2$ , como disponemos de 4 metros de tablero para dos cordones cada cordón soportará  $25 \text{ kN/m}$ .
- H: Canto de la celosía, en nuestro caso y con el fin de garantizar el paso de servicios, así como personal técnico dentro de las mismas se dispone una H de 2,80 metros.

- a: Anchura de las cerchas, el cual con el fin de ajustar las diagonales y mantener la simetría se dispondrá cada 2,05 las 8 cerchas extremales y 2,00 metros en las 16 centrales, ( $16 \times 2,05 + 16 \times 2,00 = 64,80$  metros).

Con estos datos y con la disposición planteada realizamos las hipótesis planteadas en el libro de "Números Gordos en el proyecto de estructuras; Múltiples autores".

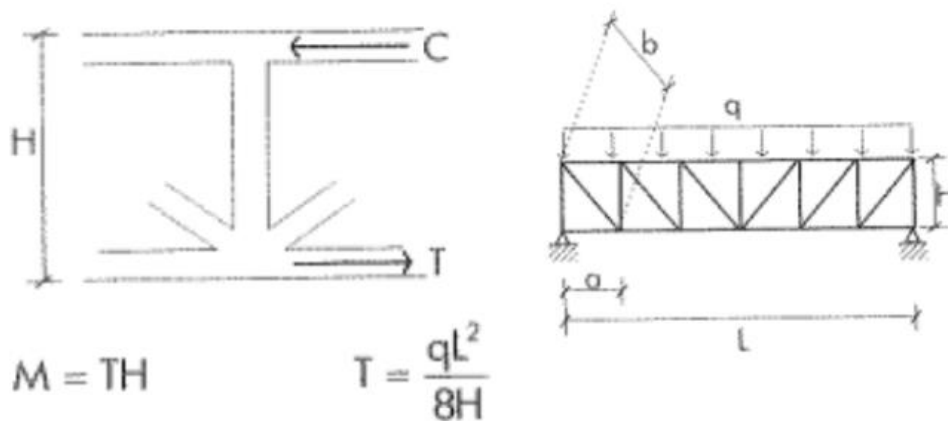


Figura 5-8 Hipótesis "Números Gordos en el proyecto de estructuras"

Montante	¿Existe?	MOMENTO	CORTANTE
0	1	0	-810
1	1	-1607,9688	-758,75
2	1	-3110,875	-707,5
3	1	-4508,7188	-656,25
4	1	-5801,5	-605
5	1	-6989,2188	-553,75
6	1	-8071,875	-502,5
7	1	-9049,4688	-451,25
8	1	-9922	-400
9	1	-10689,469	-348,75
10	1	-11351,875	-297,5
11	1	-11909,219	-246,25
12	1	-12361,5	-195
13	1	-12708,719	-143,75
14	1	-12950,875	-92,5
15	1	-13087,969	-41,25
16	1	-13120	10
17	1	-13046,969	61,25

18	1	-12868,875	112,5
19	1	-12585,719	163,75
20	1	-12197,5	215
21	1	-11704,219	266,25
22	1	-11105,875	317,5
23	1	-10402,469	368,75
24	1	-9594	420
25	1	-8680,4688	471,25
26	1	-7661,875	522,5
27	1	-6538,2188	573,75
28	1	-5309,5	625
29	1	-3975,7188	676,25
30	1	-2536,875	727,5
31	1	-992,96875	778,75
32	0	0	0

<b>MOMENTO MÁXIMO</b>	<b>13122,60</b>
-----------------------	-----------------

<b>ESFUERZOS DE CÁLCULO</b>	
<b>TRACCIÓN</b>	<b>4686,65</b>
<b>COMPRESIÓN</b>	<b>4686,65</b>

Tabla 13 Valores obtenidos mediante EXCEL

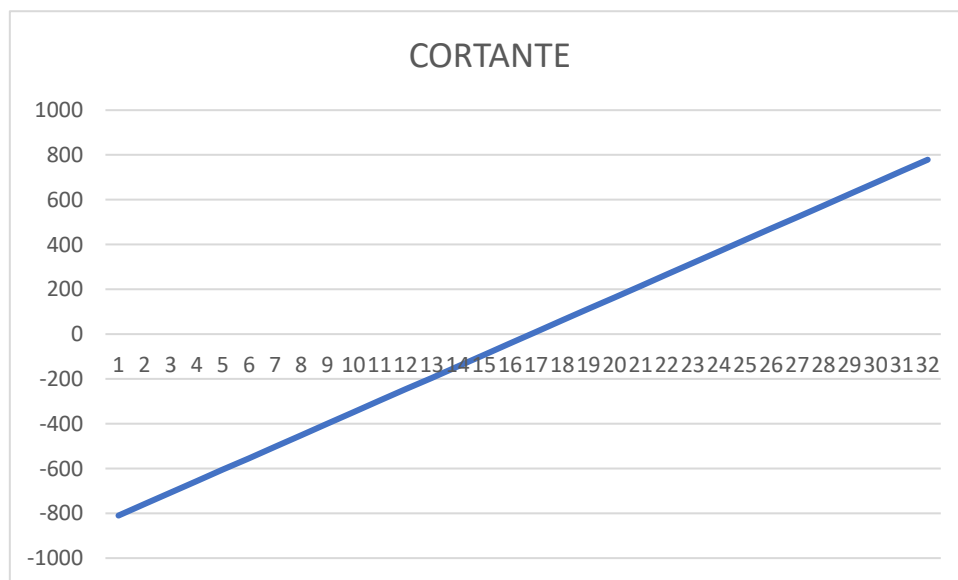


Figura 5-9 Diagrama de Cortantes

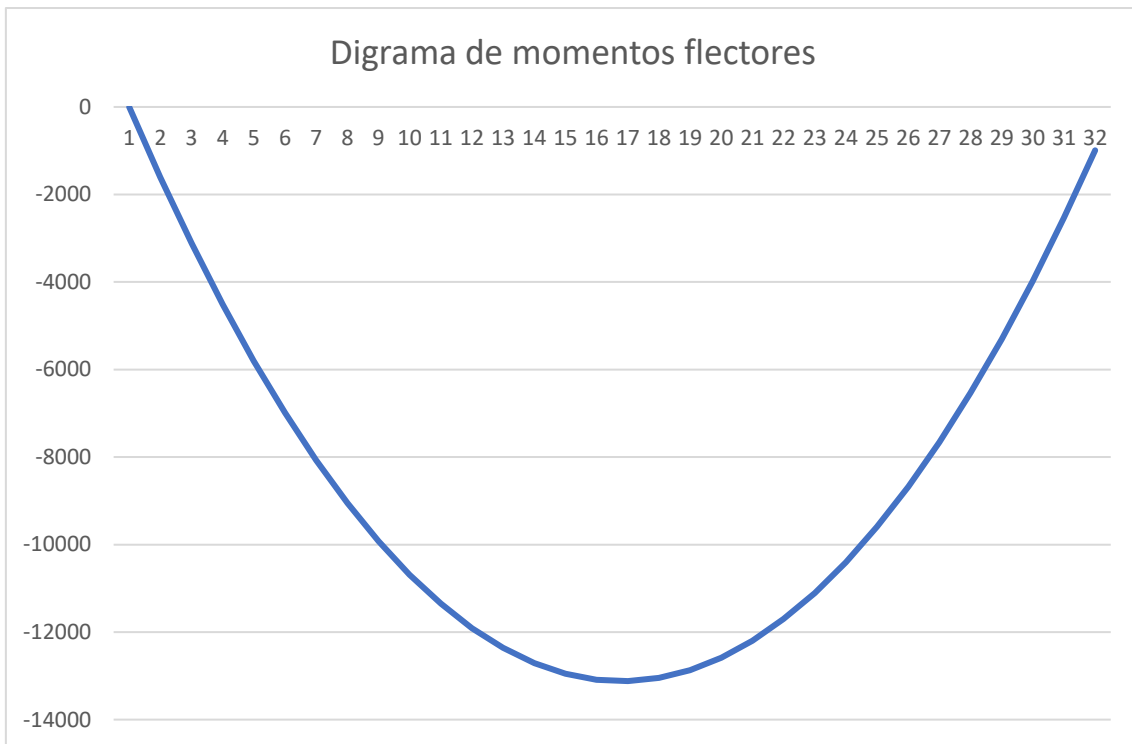


Figura 5-10 Diagrama de Momentos Flectores

El momento ha de ser resistido por una tracción y una compresión, por lo tanto, obtenemos los valores de tracción y compresión máxima, con estos valores podemos definir el área de acero necesaria para la resistencia a tracción.

## 5.8 Primera Iteración SAP2000

Emplearemos un acero S275 N/NL con límite elástico  $f_y$  (N/mm<sup>2</sup>) de 255, por lo que será necesario para cada cordón inferior un área de 215,50 cm<sup>2</sup>, se decide realizar una primera aproximación al modelo empleando como cordón inferior 2xHEB 360 soldadas para cada celosía.

Para las diagonales de la celosía independientemente de la orientación y la posición se emplearán perfiles tipo UPN 180 e iremos optimizando tanto el tipo de perfiles como su sección mediante procesos iterativos.

La losa colaborante estará conformada de una capa de hormigón HA-30 de 20 cm de canto. Sobre esta irá la calzada, así como elementos de la superestructura que no están incluidos en el modelo creado en SAP.

Debido al paso de servicios se ha tenido en cuenta el paso de personal técnico por el interior de las celosías mediante rejillas TRAMEX, este paso de personal se considera en las acciones de sobrecarga de uso pues queda limitado a una o dos personas más herramientas.

Tabla Materiales							
Material	Tipo	Peso específico	Módulo de Elasticidad (E)	Poisson (U)	Coefficiente Térmico de Expansión (A)	Módulo de Cortante (G)	Fuerza específica de Compresión
Hormigón	HA-30	25 kN/m <sup>3</sup>	33577729	0,2	5,50E-06	1,40E+07	30000
Acero	S275	76,98 kN/m <sup>3</sup>	2,00E+08	0,3	1,17E-05	7,69+E07	-

Tabla 14 Materiales empleados

Se realiza el esquema estructural con los perfiles deducidos, con esta iteración podremos conocer el peso de la estructura y realizar modelos más ajustados en búsqueda de la optimización de los perfiles.

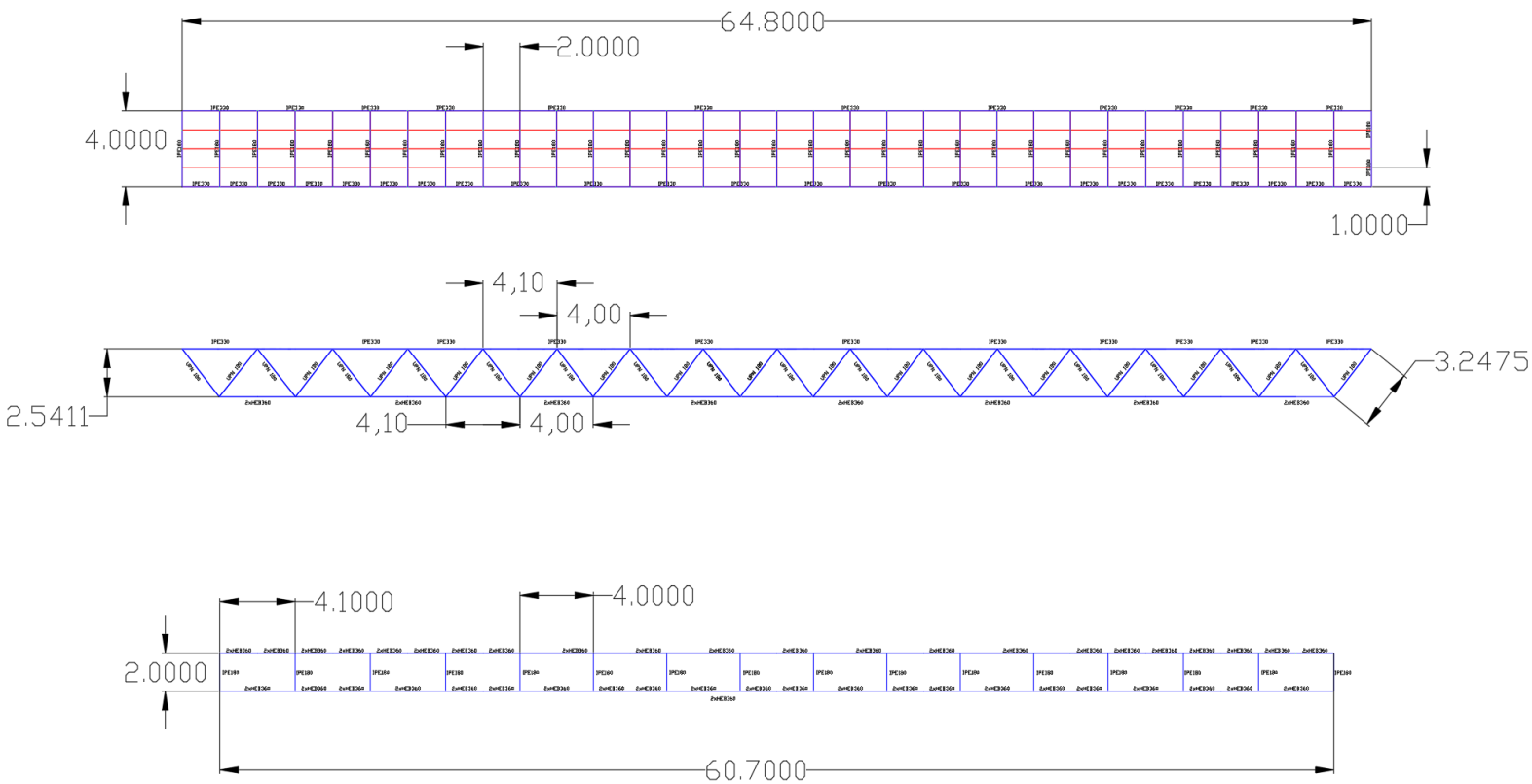


Figura 5-11 Esquema constructivo 1ª Iteración

Aplicado el nuevo modelo en SAP2000 con todas las cargas y combinaciones previamente citados se obtiene un análisis completo según los EUROCODIGOS 2 (2005) y EUROCODIGO 3 (2005) del comportamiento de los elementos y el peso total de los mismos.

Los resultados obtenidos son los siguientes:



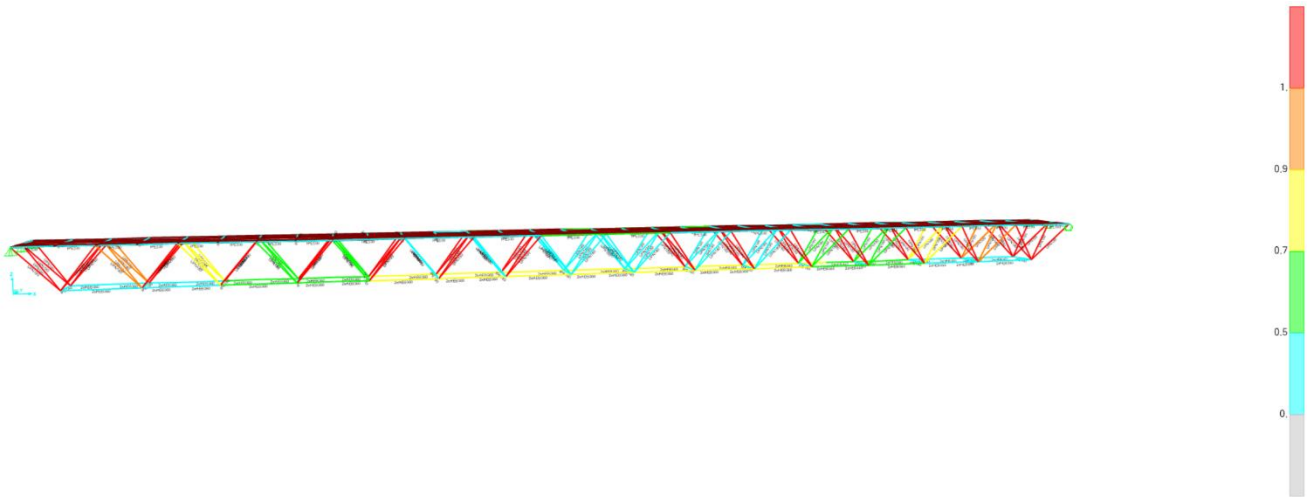


Figura 5-12 1ª Iteración SAP2000

Con el fin de poder observar con mayor detalle los elementos y debido a la simetría de la pasarela se realiza un corte a media luz que nos permite analizar mejor los resultados obtenidos:

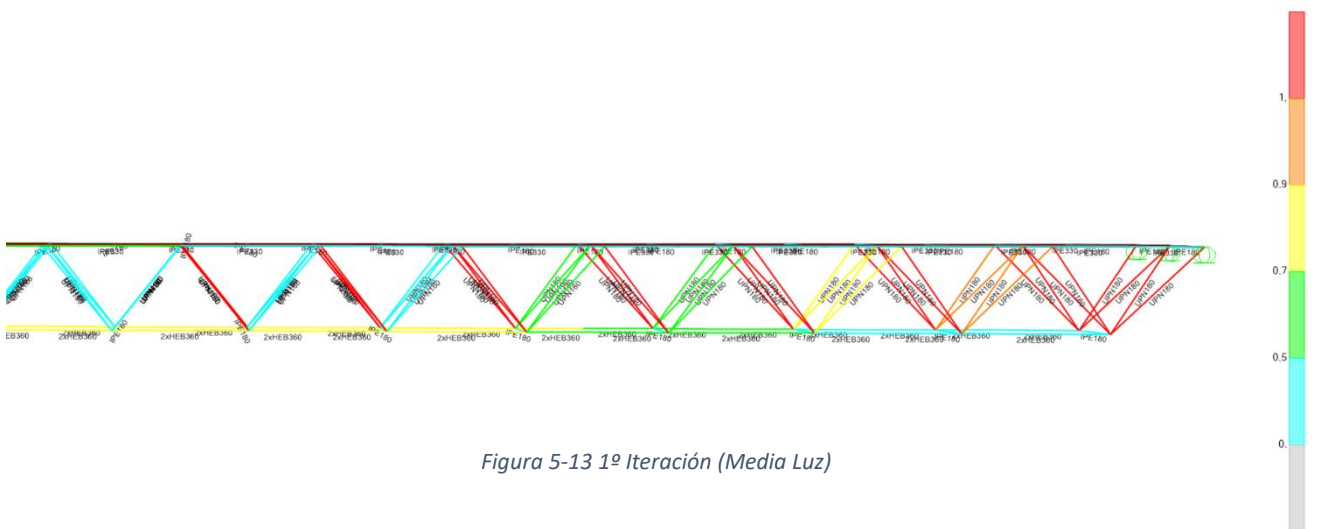


Figura 5-13 1ª Iteración (Media Luz)

Se observa que el cordón traccionado que hemos planteado con dos perfiles HEB360 soldado trabaja en un buen rango, pero en las zonas próximas en los apoyos se hace evidente el sobredimensionamiento de los perfiles, por lo que con la idea de ajustar los perfiles a la ley de momentos se reduce el perfil de 2xHEB360 a uno único en la zona de los apoyos.

Conociendo ahora el peso propio de la estructura se plantea un nuevo cálculo para las diagonales, se ha seguido el criterio de aplicar perfiles IPE y UPN en las zonas traccionadas y HEA en las zonas comprimidas, estas diagonales se ajustarán a la ley de los cortante donde en los extremos son necesarias unas secciones mayores.

Como este modelo dista mucho del modelo final no se realizan las comprobaciones del ELS en las que analizaríamos la flecha y la frecuencia de la estructura.

El listado de perfiles, así como la carga de los materiales, se detalla en la siguiente lista:

Section Text	ObjectType Text	NumPieces Unitless	TotalLength	TotalWeight KN
IPE180	Frame	50	164	30,17
IPE330	Frame	36	129,6	62,448
UPN180	Frame	128	431,2484	92,812
2xHEB360	Frame	44	121,4	325,89
Losa de Hor...	Area			1619,522

ObjectType Text	Material Text	TotalWeight KN	NumPieces Unitless
Frame	S275	511,319	258
Area	HA-30	1619,522	

Tabla 15 Materiales y Perfiles 1ª Iteración

## 5.9 Segunda Iteración SAP2000

Para esta iteración lo primero que se realiza es el dimensionamiento de los perfiles diagonales con los datos obtenidos de la primera iteración, en la cual se ha obtenido que la carga total de los elementos es de 2131,33 kN.

Esta carga junto con la de sobrecarga de uso nos sirve para calcular las reacciones de los apoyos, teniendo en cuenta que en cada extremo existen 3 apoyos la reacción unitaria en cada uno de ellos es de **636,89 kN**.

La carga distribuida se sustituye por una carga estática en el centro luz, esta carga tiene como valor 3821,31 kN (2131,33 de Peso Propio + 1689,98 kN de Sobrecarga de Uso), esta carga se reparte entre 64,80 metros de luz: **58,97 kN//m**.

Por último, como sólo se estudia una celosía esta carga queda distribuida entre las 4 celosías, por lo que la carga repartida pasa a ser de **12,80 kN/m**.

Primero se analiza la sección central siguiendo el análisis por nudos, los datos de tracción y compresión de los cordones superior e inferior serán extraídos del modelo de la primera iteración.

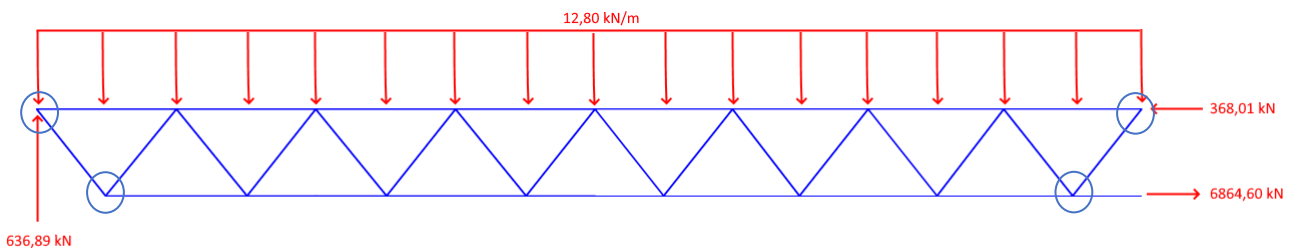


Figura 5-14 Boceto de cálculo

Mediante el método de nudos se obtienen los esfuerzos internos de las diagonales traccionadas y comprimidas en la pasarela. Se estudian dos casos determinantes, el primero en la zona de centro luz que es el más favorable y nos determinará los perfiles mínimos para cada caso (Traccionado y Comprimido).

En el segundo caso se calculan los esfuerzos en las zonas próximas a los apoyos, donde se determinará el perfil máximo, para cada situación, de la estructura, con este rango de perfiles se rehará el modelo en SAP2000 para realizar las comprobaciones necesarias y si fuere necesario ajustar más el modelo.

### 5.9.1 Método Nudos Centro Luz

Como se ha comentado se realiza el estudio de los nudos en la zona de centro luz, los datos de los cordones superior e inferior se han obtenido de la primera iteración del SAP2000.

El primer nudo que se estudia es el superior centro-luz que está marcado en la figura 1-14.

La carga obtenida en la horizontal corresponde a las cargas de peso propio y Sobrecarga de uso por áreas tributarias de 3,2m<sup>2</sup> (Correspondientes a multiplicar la carga repartida calculada en el punto 1.9 con los 4 metros de longitud que corresponden a cada nudo).

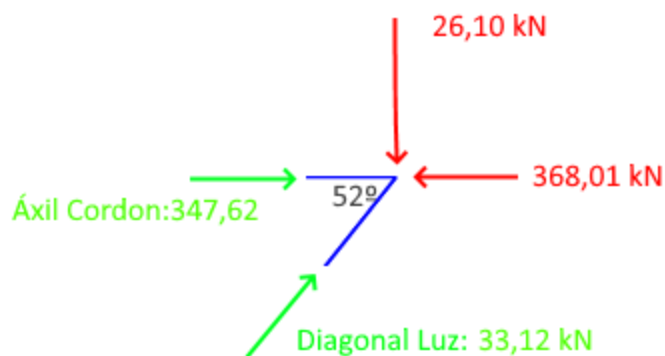


Figura 5-15 Resolución Nudo Superior centro Luz

Mediante equilibrio de fuerzas en el eje Y se obtiene la diagonal Luz que corresponde a:

$$\sum F_y = 0; \quad 26,10 = \text{Diagonal Luz} * \sin(52)$$

$$\text{Diagonal Luz} = 33,12 \text{ kN}$$

El axil del cordón sale del resultado trivial de equilibrar las fuerzas en el Eje X junto con la proyección de la Diagonal recién calculada. Axil: 347,62 kN.

El siguiente paso consiste en realizar lo mismo para el nudo inferior que este marcado a la derecha en la figura 1-14, aprovechando los cálculos ahora realizados.

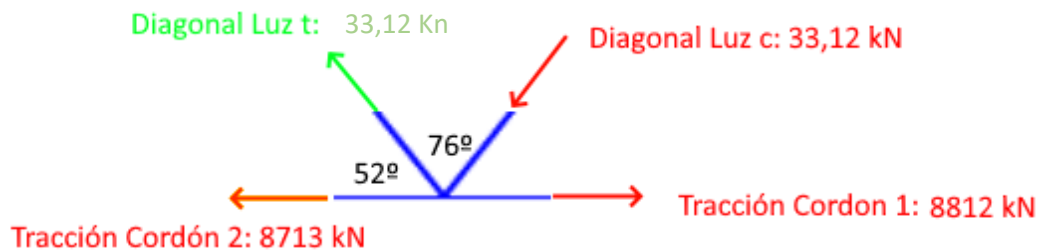


Figura 5-16 Resolución Nudo Inferior Centro Luz

En este caso la igualdad de fuerzas primero se realiza en el eje X para poder determinar la diagonal comprimida, que en este caso es mayor y será la determinante para las secciones de centro luz.

$$\sum F_x = 0; 8812 \text{ kN} = \text{Diagonal Luz c} * \sin(52) + 8713 \text{ kN}$$

Se deduce ahora las áreas necesarias para las secciones de la zona central, para la sección comprimida empleamos la siguiente fórmula donde A es la incógnita:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$160,80 = \frac{A * 275000}{1,05}; A = 6,20 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} \leq N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$160,80 = \frac{0,9 * A_{net} * 360000}{1,25}; A_{net} = 6,03 \text{ cm}^2$$

La diagonal traccionada será mucho menor, pero no será necesario calcularlo debido a que los perfiles que se decide emplear tienen como mínimo: HEA 100(21,2 cm<sup>2</sup>) y IPE 100 (10,30).

Por lo tanto, estos son los perfiles mínimos que se ubicarán en la zona centro luz y adyacentes, ya que cuentan con un rango de trabajo al ser la sección mayor a la solicitada.

### 5.9.2 Método Nudos en los Extremos

Faltaría por calcular entonces el caso más desfavorable para obtener el rango de perfiles necesarios para el correcto dimensionamiento de la estructura. Siguiendo la figura 1-14 se calculan ahora los puntos de marcados de la zona del apoyo.

La carga obtenida en la horizontal corresponde a las cargas de peso propio y Sobrecarga de uso por áreas tributarias de  $3,2\text{m}^2$  (Correspondientes a multiplicar la carga repartida calculada en el punto 1.9 con los 4 metros de longitud que corresponden a cada nudo).

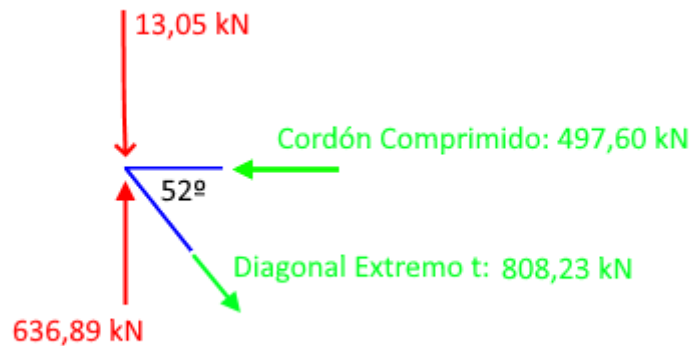


Figura 5-17 Resolución Nudo Superior Apoyo

$$\sum Fy = 0; 636,89 \text{ kN} = 13,05 \text{ kN} + \text{Diagonal Extremo } t * \text{Sin}(52)$$

$$\text{Diagonal Extremo } t = \mathbf{808,23 \text{ kN}}$$

$$\sum Fx = 0; \text{Diagonal Extremo } t * \text{Cos}(52) = \text{Cordón Compimido kN}$$

$$\text{Cordón comprimido} = \mathbf{497,60 \text{ kN}}$$

Se deduce ahora las áreas necesarias para las secciones de la zona de los apoyos, para la sección comprimida empleamos la siguiente fórmula donde A es la incógnita:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{Mo}}$$

$$808,23 = \frac{A \cdot 275000}{1,05}; A = 30,85 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} \leq N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{neta} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

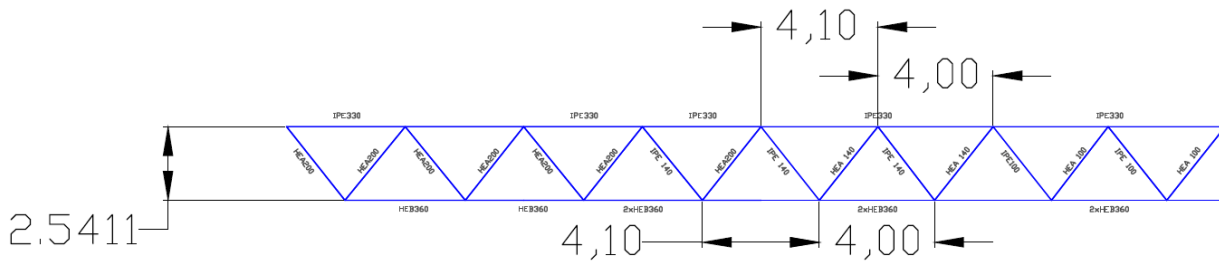
$$808,23 = 0,9 \cdot \frac{A \cdot 370000}{1,25}; A = 30,39 \text{ cm}^2$$

Se deduce ahora las áreas necesarias para las secciones de la zona de los apoyos, para la sección traccionada empleamos la siguiente fórmula donde A es la incógnita:

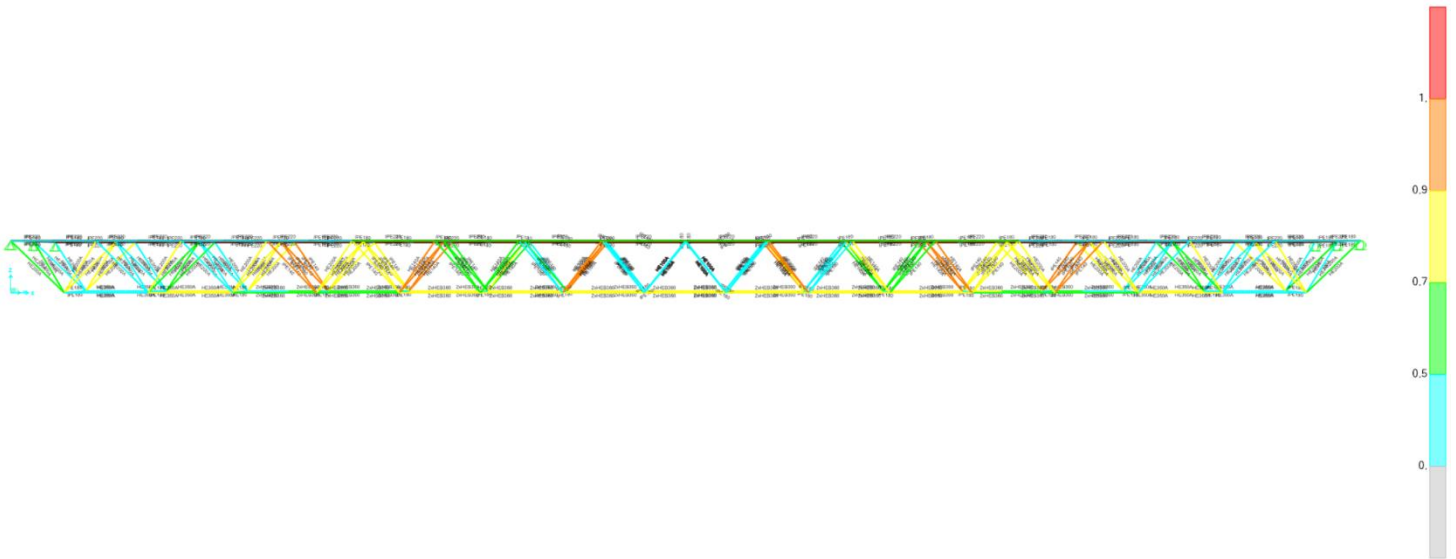
Intentaremos que los perfiles que aplicamos no excedan el 70% de su capacidad, por lo que elegiremos perfiles sobredimensionando el área para que la calculada no exceda ese porcentaje.

Es por ello por lo que el área empleada será de  $30,85 \text{ cm}^2 / 0,70 = 44,07 \text{ cm}^2$  por lo que se optaría por perfiles HEA200 para las zonas comprimidas y para las zonas traccionadas, puesto que es una zona con una sollicitación muy elevada.

Por lo tanto, la disposición final para la segunda iteración es:



Se comprueba ahora en el modelo la estructura planteada, con la obtendremos los nuevos pesos totales de la estructura y la iteración de las barras.



Se observa que ahora todas las barras cumplen, aunque las zonas más alejadas de nuestra zona de estudio no han quedado bien ajustadas a las solicitaciones, por lo que será necesario una última iteración con el objetivo de reducir pesos en las barras y ajustar los perfiles.

El listado de perfiles, así como la carga de los materiales, se detalla en la siguiente lista:

Section Text	ObjectType Text	NumPieces Unitless	TotalLength	TotalWeight KN
IPE180	Frame	50	164	30,17
IPE220	Frame	36	129,6	33,319
HE100A	Frame	16	53,66563	8,757
HE140A	Frame	16	53,66563	12,971
HE200A	Frame	56	189,51264	78,48
HE360A	Frame	14	32,8	36,103
2xHEB360	Frame	30	88,6	237,84
IPE100	Frame	12	40,24922	3,191
IPE140	Frame	28	94,15527	11,886
Losa de Hor...	Area			1619,522

ObjectType Text	Material Text	TotalWeight KN	NumPieces Unitless
Frame	S275	452,717	258
Area	HA-30	1619,522	

Tabla 16 Tabla de Materiales y perfiles 2ª Iteración

## 5.10 Tercera Iteración en SAP2000

Con el fin de conseguir una cierta homogeneidad y estandarización en el diseño con el fin de conseguir un mejor acabado visual se limitan los perfiles diagonales de la celosía a:

- IPE 100, 140, 200
- HEA 100, 140, 200

Estos perfiles están dentro del rango de Áreas necesarias que previamente hemos calculado, esto permitirá una mayor facilidad a la hora de realizar las uniones puesto que se intentará hacer coincidentes las mismas métricas.

Otros elementos que podemos ajustar son las transversales, en el anterior modelo se obtiene que la solicitación máxima de las transversales es una compresión de 8 kN, en el caso de las inferiores estas están destinadas también a proveer el paso de servicios y personal de mantenimiento, el cual se ha estimado como dos líneas de 2 kN/m y estimamos a dos personas de 80 kg en el mismo tramo.

Se decide emplear el TRAMEX para garantizar el paso, teniendo en cuenta la sobrecarga de uso (Estimamos 2 personas de 80 kg, el propio peso de la malla y el paso de los servicios). Todo esto nos sale una carga repartida de:

$$\begin{aligned} \text{Carga equivalente} &= (1,5 * (2 * 0,8 \text{ kN}) + 1,35 (4\text{kN} + (0,5 * 2))) \\ \text{Carga equivalente} &= 9,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ \text{Carga repartida equivalente} &= \frac{9,15}{2} \text{ kN}; 4,58 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Elegimos por tanto el tramo de malla “35x5” de distancia entre apoyos de 2000 mm :

MALLA a x b (mm)		34 x 38		34 x 76		34 x 100							
Portante	h x e (mm)	25 x 4	25 x 5	30 x 4	30 x 5	35 x 4	35 x 5	40 x 4	40 x 5	50 x 4	50 x 5	60 x 5	70 x 5
DISTANCIA ENTRE APOYOS (mm) Luz libre	L	Carga uniformemente repartida (kN/M <sup>2</sup> )											
	500	63,26	79,08	91,10	113,87	124,00	154,99	161,95	202,44	253,05	316,31	455,49	619,98
	600	44,08	55,10	63,48	79,35	86,40	108,00	112,85	141,06	176,32	220,40	317,38	431,99
	700	32,49	40,62	46,79	58,49	63,69	79,61	83,19	103,98	129,98	162,47	233,96	318,45
	800	24,57	30,72	35,95	44,93	48,93	61,16	63,90	79,88	99,85	124,81	179,73	244,63
	900	15,39	19,24	26,60	33,25	38,79	48,48	50,66	63,32	79,16	98,94	142,48	193,93
	1000	*10,13	12,66	17,51	21,88	27,80	34,75	41,17	51,46	64,33	80,41	115,79	157,61
	1100	6,94	* 8,68	12,00	15,00	19,05	23,82	28,44	42,67	53,34	66,68	96,01	130,69
	1200	6,15	7,69	* 8,50	10,62	13,50	16,87	20,15	25,18	39,35	49,19	80,95	110,18
	1300	5,82	7,28	7,74	* 7,74	9,83	12,29	14,67	18,34	28,66	35,83	61,91	94,19
	1400	4,68	5,85	8,08	7,22	* 7,33	9,17	10,95	13,68	21,38	26,72	46,18	73,33
	1500	3,81	4,77	6,59	8,24	6,98	* 6,98	8,33	10,42	16,28	20,35	35,16	55,83
1600	3,15	3,94	5,45	6,81	8,65	6,76	* 6,46	8,07	12,61	15,77	27,25	43,27	
1700	2,64	3,30	4,56	5,70	7,24	9,05	6,36	* 6,36	9,93	12,41	21,45	34,06	
1800	2,23	2,79	3,85	4,82	6,12	7,55	9,13	6,34	7,93	9,91	17,12	27,19	
1900	1,90	2,38	3,29	4,11	5,22	6,42	7,79	9,74	* 6,41	8,01	13,84	21,97	
2000	1,64	2,04	2,83	3,53	4,49	5,61	6,70	8,37	6,54	6,54	11,31	17,95	
Peso propio (Kg/M <sup>2</sup> )		30,40	36,80	35,75	43,40	41,10	50,05	46,50	56,70	57,20	72,30	84,70	97,95

F ≤ 4 mm.

F ≤ 5 mm.

F ≤ 1/200 luz

F - excesiva, carga a F = 1/200 Luz

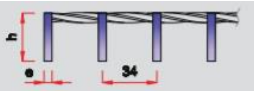




Tabla 17 Tabla de Cargas para TRAMEX



El cálculo de la ley de momentos en este perfil será equivalente a:

$$M_{max} = \frac{PL^2}{8}$$

$$M_{max} = \frac{4,58 * 2^2}{8} = 2,30 \text{ kN} * \text{m}$$

Con los datos obtenidos podemos concluir en aplicar el perfil UPN 80 que dispone de 11 cm<sup>2</sup>, lo cual supera holgadamente las solicitaciones que se le aplican. Esto se aplicará para todos los perfiles transversales inferiores.

Por el contrario, el perfil transversal superior requiere un estudio más detallado del cálculo de su perfil, pues esta ha de soportar las cargas repartidas de la losa, así como el paso de los peatones.

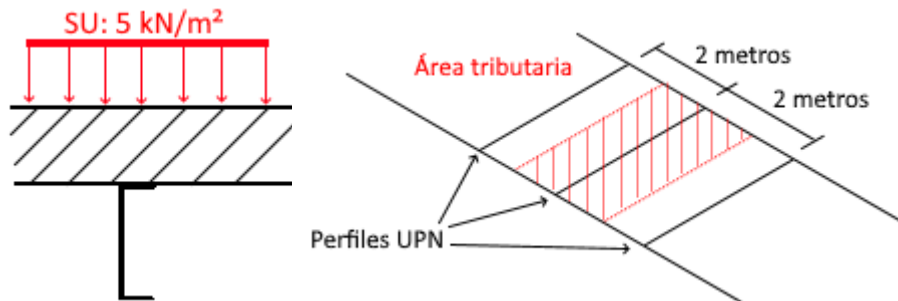


Figura 5-18 Áreas Tributarias para Perfiles UPN

Se sabe el área tributaria y las cargas que están presentes en ellas:

- Losa de Hormigón: 2 m x 0,20 m x 25 kN/m<sup>3</sup> = 10 kN/m
- Sobrecarga de Uso: 2 m x 5 kN/m<sup>2</sup> = 10 kN/m
- Barandilla: 2 m x 0,32 kN/m<sup>2</sup> = 0,64 kN/m
- Capa de Rodadura: 2 m x 1,76 kN/m<sup>2</sup> = 3,52 kN/m

$$P = (1,5 * 10) + 1,35 * (10 + 0,64 + 3,52) = 34,12 \text{ kN}$$

$$M_{max} = \frac{PL^2}{8}$$

$$M_{max} = \frac{((1,5 * 10) + 1,35 * (10 + 0,64 + 3,52)) * 2^2}{8} = 17,06 \text{ kN} * \text{m}$$

Se calcula el área necesaria para estos perfiles a través del cálculo mediante flexión simple:

$$M_{c,Rd} \equiv M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{Mo}}$$

$$17,06 = \frac{W_{pl} * 275000}{1,05}; W_{pl} = 6,52 * 10^{-5}$$

$$W_{pl} = 6,52 * 10^{-5} = 2 * S_y; S_y = 3,26 * 10^{-5} m^3$$

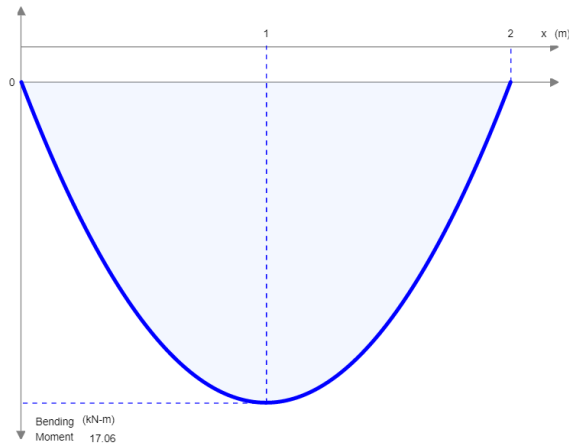


Figura 5-19 Ley de momentos Flectores UPN

Se comprueba que podemos aplicar el mismo tipo de perfiles UPN 80 que habíamos planteado en la zona inferior para el paso de los operarios, el  $S_y$  del perfil UPN80 = 15,9 cm<sup>3</sup>.

Por último, comprobamos a cortante el perfil para el tipo de carga más desfavorable, en caso de cumplir este caso no hará falta realizar la comprobación de los perfiles inferiores (Zona de paso para los operarios e instalaciones).

$$V_{max} = \frac{PL}{2}$$

$$V_{max} = \frac{((1,5 * 10) + 1,35 * (10 + 0,64 + 3,52)) * 2}{2} = 34,12 \text{ kN} * m$$

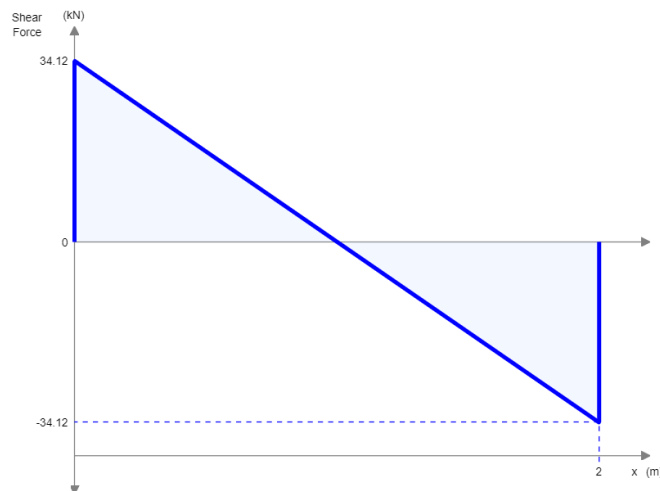


Figura 5-20 Ley de Cortantes UPN

Si se aplica el DB SE-A el valor de cálculo del esfuerzo cortante solicitación  $V_{Sd}$  debe ser menor que la resistencia de la sección a cortante  $V_{c,RD}$ . Así la resistencia de la sección a cortante en ausencia de torsión será igual a la resistencia plástica  $V_{pl,Rd}$ :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{MO}} \quad V_{Sd} \leq V_{pl,Rd}$$

$A_v$  es el área eficaz a cortante que se obtendrá a partir de las siguientes expresiones en función del tipo transversal, en nuestro caso al ser de U puede adoptarse igual a:

$$A_v = 1,04 \cdot h \cdot t_w$$

$$A_v = 1,04 \cdot 80 \cdot 6 = 499,2 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{(499,2 \cdot (275/\sqrt{3}))}{1,05} = 75,50 \text{ kN}$$

Comprobamos que cumple holgadamente la solicitación debida al cortante por más del doble, lo que nos garantiza que no se reduce el momento ultimo debido a la iteración de ambos esfuerzos.

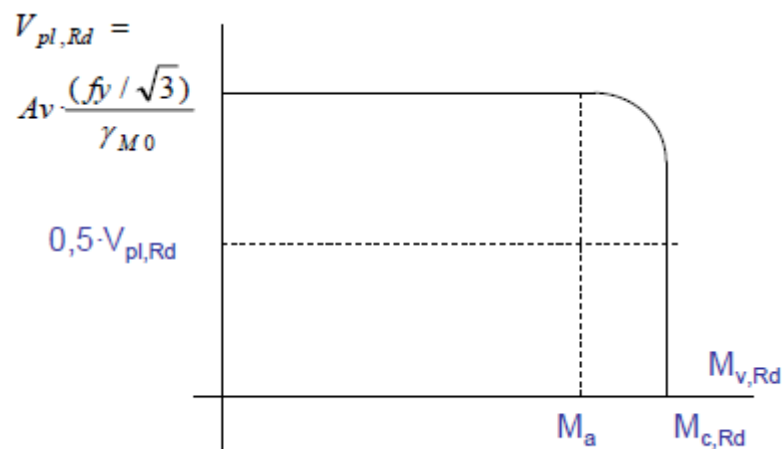


Figura 5-21 Iteración Momento Último – Cortante

Por lo tanto, se garantiza que la colocación de perfiles UPN80 para todas las secciones transversales es favorable y cumplirá las solicitaciones además de reducir el peso de la estructura.

La disposición final para la tercera iteración es la siguiente:

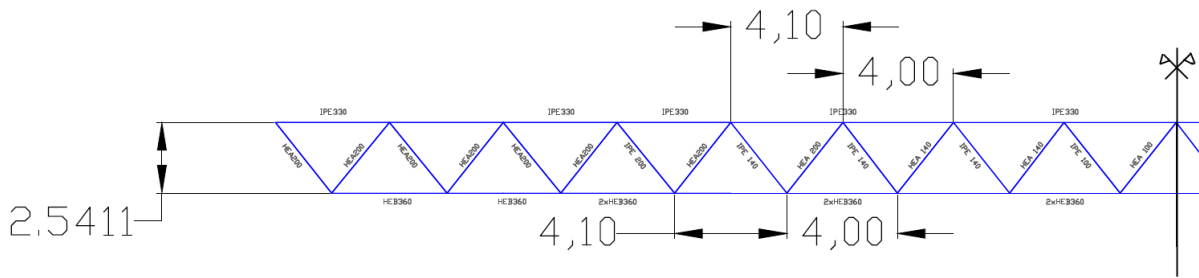


Figura 5-22 Esquema disposición 3ª Iteración

El resto de los perfiles seguirán igual salvo los transversales que son todos cambiados a UPN 80. La losa se disminuye a 20 centímetros de espesor. Se realiza el modelo en el SAP2000 y con las cargas obtenidas y sus combinaciones se realiza un estudio del modelo.

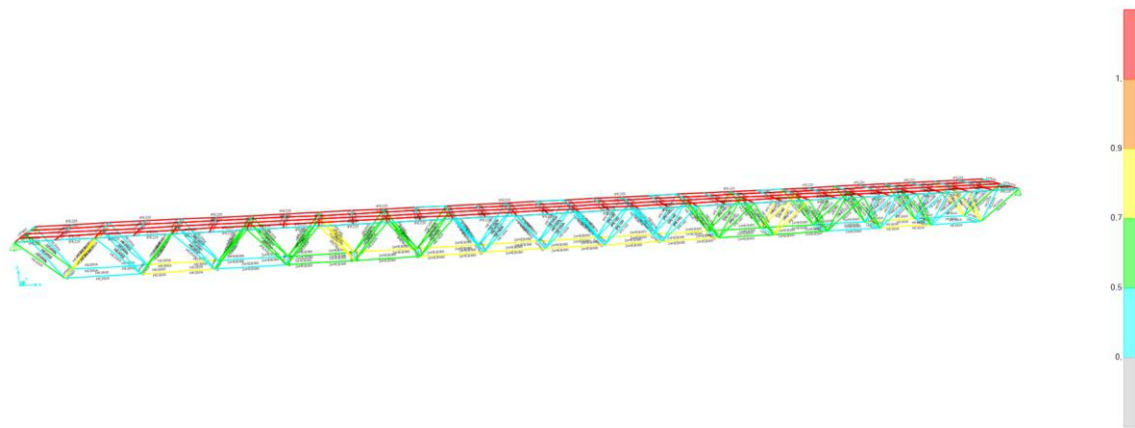


Figura 5-23 3ª Iteración SAP2000

Se aprecia que el modelo cumple con las solicitaciones en la envolvente de Estado Límite Último con las combinaciones. Además, la estandarización de los perfiles permite una unión entre perfiles de compresión y tracción (IPE y HEA) de manera más sencilla.

El peso propio de la estructura según los materiales se detalla en la siguiente lista:

ObjectType Text	Material Text	TotalWeight KN	NumPieces Unitless
Frame	S275	446,343	258
Area	HA-30	1295,617	

Tabla 18 Peso Propio estructura 3ª iteración

La diferencia con el primer modelo es de 388,82 kN (39,56 Tn), con el primer modelo la diferencia es de 330,27 (33,65 Tn), aunque mayoritariamente esta reducción se debe a la reducción de la losa de hormigón 323,90 kN (33,08 Tn) en ambos casos.

Aunque se puede analizar que a pesar del aumento en secciones en los perfiles de celosía esta se ha visto compensada con la reducción de todos los perfiles transversales, dejando finalmente un saldo positivo en la reducción de peso de 6,37 kN.

A pesar de que no pueda parecer mucho, no hay que olvidar que con el fin de garantizar la resistencia y favorecer los procedimientos constructivos se han aumentado la sección de ciertos perfiles de las celosías.

Todas estas comprobaciones se han realizado mediante la envolvente ELU y en los casos más desfavorables, en el uso normal del puente (ELS) se observa que la mayoría de las secciones trabaja en un rango de menos del 50% de su capacidad, y muy pocas secciones ven aumentadas estas solicitaciones entre el 50-70%.

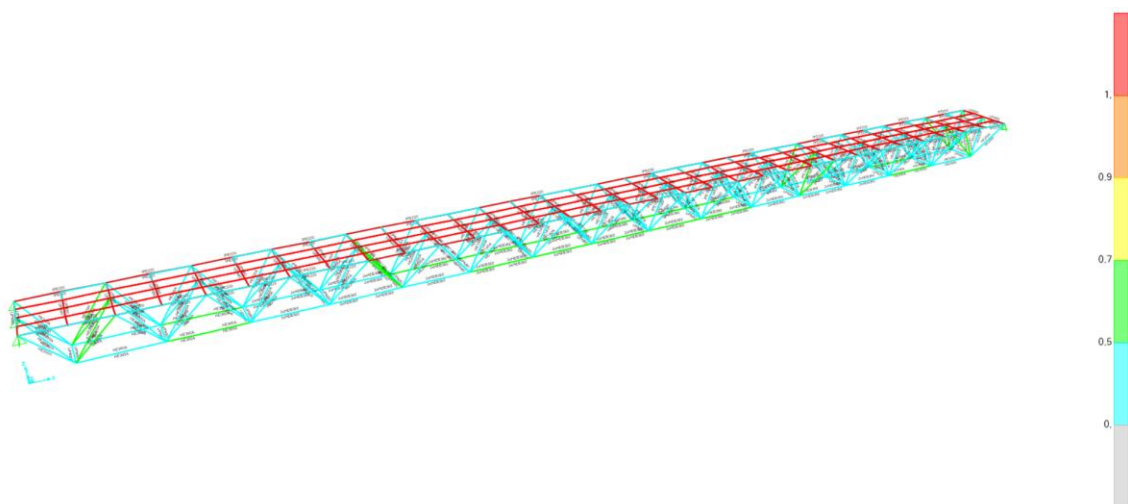


Figura 5-24 3ª Iteración en ELS

Por lo tanto, este será el modelo final de la estructura sobre el que ahora debemos comprobar las limitaciones de ELS. El listado de los perfiles de este modelo es el siguiente:

Section Text	ObjectType Text	NumPieces Unitless	TotalLength	TotalWeight KN
IPE200	Frame	8	27,07323	5,939
IPE220	Frame	36	129,6	33,319
HE100A	Frame	8	26,83282	4,379
HE140A	Frame	16	53,66563	12,971
HE200A	Frame	64	216,34545	89,592
HE360A	Frame	14	32,8	36,103
2xHEB360	Frame	30	88,6	237,84
IPE100	Frame	8	26,83282	2,127
IPE140	Frame	24	80,49845	10,162
UPN80	Frame	50	164	13,911
Losa de Hor...	Area			1295,617

Tabla 19 Secciones del Modelo Final

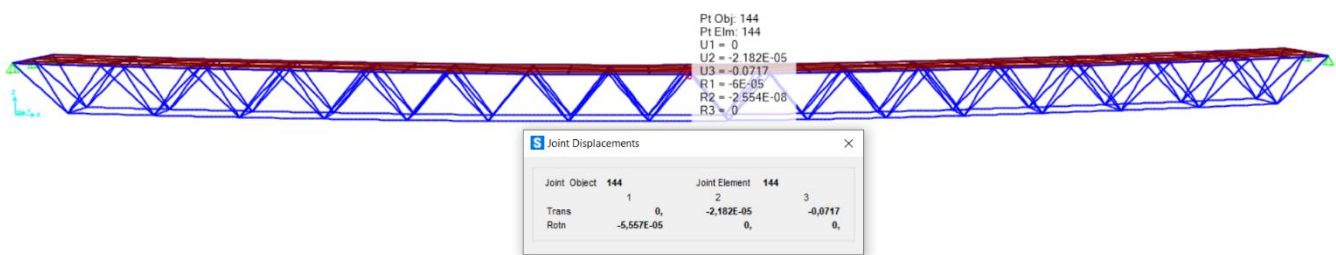
## 5.11 Comprobaciones ELS

Tras diseñar el modelo en base a la envolvente de los Estados Límite Último (ELS) toca realizar las comprobaciones de los Estados Límites de Servicio (ELS). Estos incluyen la deformación por sobrecarga de uso y la frecuencia.

### 5.11.1 Comprobación de Deformación (Flechas)

La flecha correspondiente a la parte de la sobrecargar de combinación frecuente será igual o menor a  $L/1200$  en pasarelas peatonales y puentes urbanos con aceras accesibles. Teniendo en cuenta la luz de nuestro vano (64,80 metros) nuestra flecha máxima será de 0,054 metros. Esta flecha se calcula con la Sobrecarga de Uso con el coeficiente de combinación pertinente (0,4).

En nuestro caso, gracias a la implementación del modelo en el programa SAP2000 se puede obtener este valor de forma inmediata gracias al cálculo de las deformaciones.



Se obtiene que la flecha obtenida por la sobrecarga de uso es de 0,0717 metros, lo cual, multiplicado por el coeficiente de combinación (0,4) nos da como resultado 0,0287 metros, lo cual cumple con los límites previamente calculados ( $0,054 > 0,0287$ ).

Aunque se debe tener en cuenta que durante la construcción será necesaria la aplicación de una contra flecha de 0,14 metros para compensar la deformación formada por la carga permanente que ha de soportar la estructura (Peso propio, Peso Calzada, Peso Barandilla, Farolas y Paso de Servicios).

### 5.11.2 Comprobación de la Frecuencia

La última comprobación que se ha de realizar es evitar que el puente pueda entrar en resonancia debido a la frecuencia propia de la misma.

La obtención de las frecuencias se puede realizar con el modelo SAP2000, en el debemos determinar cuáles son las frecuencias que debemos tener en cuenta para las comprobaciones.

## 6 Anejo de Uniones

Las limitaciones de transporte nos fuerzan a realizar uniones para tratar los perfiles como elementos continuos. Es por ello por lo que va a ser necesario la creación de un taller a pie de obra para las uniones.

Estas uniones se realizarán únicamente en los perfiles IPE 220 Y HEB360 puesto que el resto de las uniones se realizarán directamente desde el taller y transportados hasta el taller a pie de obra para conseguir un elevado grado de prefabricación y así poder reducir el tiempo de montaje y molestias que puedan ocasionar las obras ya que será necesaria la delimitación de dos zonas para acopio de materiales y para el taller a pie de obra, estas zonas se situarán a cada linde del río. Como se muestra en la siguiente imagen:

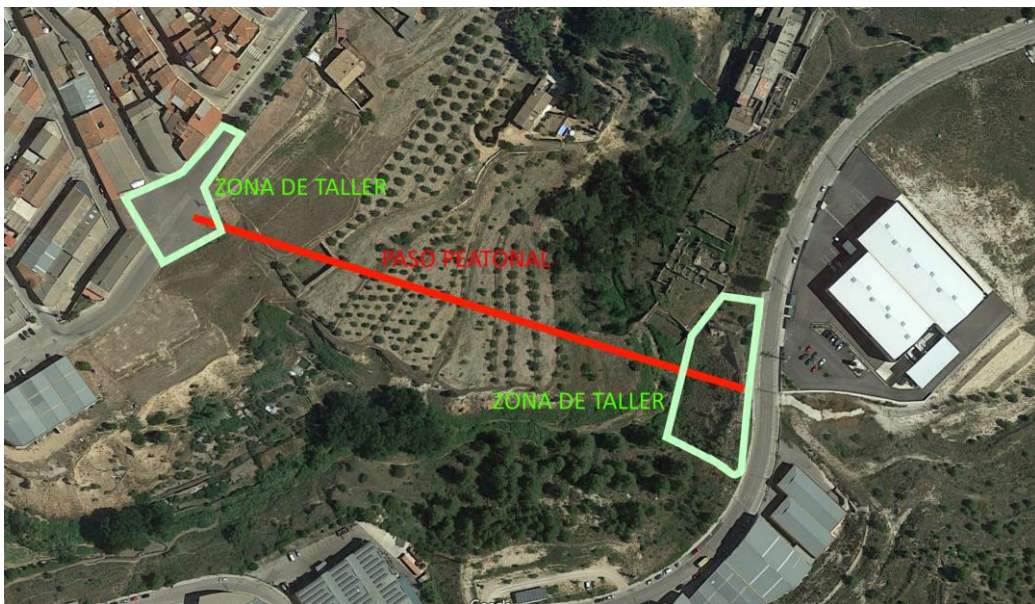


Figura 6-1 Posición de talleres

Las celosías trianguladas serán las que vendrán soldadas de taller directamente puesto que el transporte de estas es posible sin necesidad de transportes especiales:

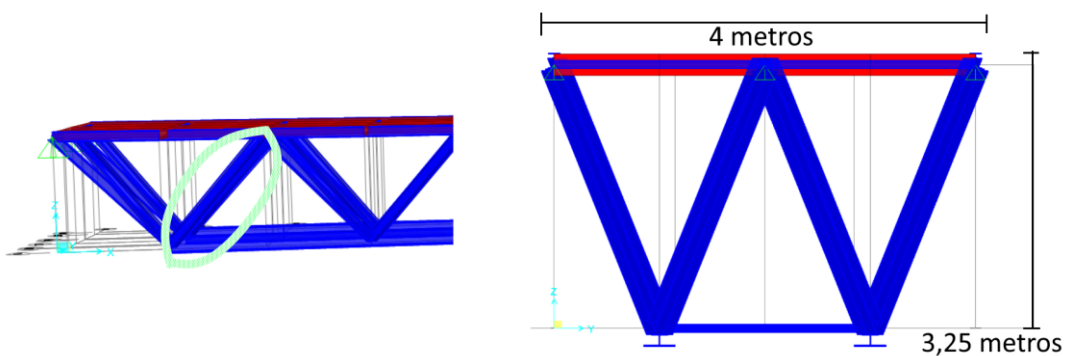


Figura 6-2 Detalle celosías



Estas uniones deberán estar preparadas para unirse mediante soldadura a los perfiles principales (IPE 220, HEB 360). Para la dimensión de la unión se han obtenido los datos más desfavorables obtenidos del SAP2000 con la fase final de cálculo.

Los cálculos de las uniones se realizan mediante la plataforma “IDEA Statica”, hay que tener en cuenta que esta plataforma emplea unidades en el código inglés, es por ellos que deberemos realizar conversiones de los esfuerzos y las medidas de las uniones.

La primera unión que se decide dimensionar es la más exigente de la estructura, se trata de la zona central en los perfiles traccionados HEB360. Aunque lo ideal sería plantear un esquema constructivo en el que se evite emplazar una unión en la zona de centro luz, emplearemos dichos valores para el dimensionamiento de la unión, esta se aplicará de la misma manera para todas las uniones puesto que el coste no es significativo y el aumento de la seguridad por la homogeneización de la construcción aumenta.

Hay que tener presente que en la zona central este perfil se encontrará completamente soldado formando un perfil 2xHEB360, aunque en la zona inferior se soldara con ciertas discontinuidades para permitir el paso de agua en caso se lluvias.

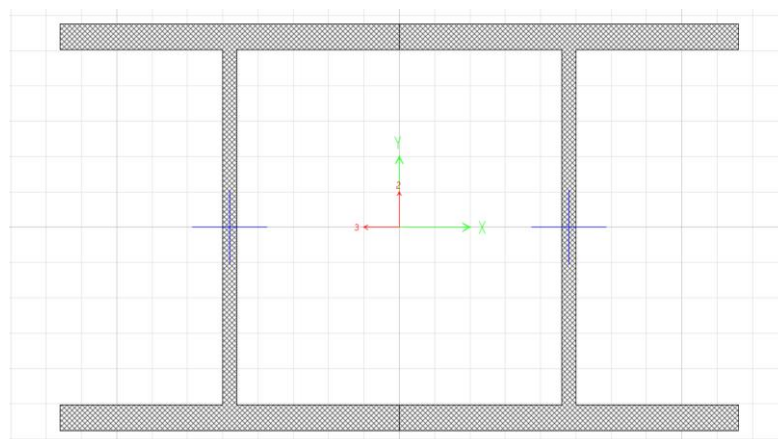


Figura 6-3 Perfil 2xHEB360

Para un correcto funcionamiento de la unión los perfiles 2xHEB360 deberán tener un cierto desacoplamiento para evitar concentrar las uniones en el mismo punto:

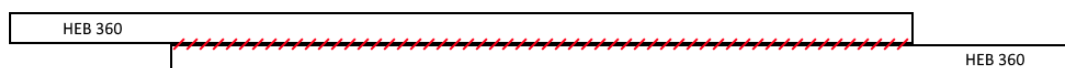


Figura 6-4 Disposición en Planta de los Perfiles 2xHEB 360

Finalmente, en el taller a pie de obra estos serán colocados y soldados con el resto de los elementos, así como sus uniones.



La solución planteada es una unión soldada con chapa superior e inferior y en el alma. El acero con el que se está trabajando es el S275.

La chapa inferior y superior tendrán un espesor de 2 centímetros (0,8 inches) y una longitud de 40 centímetros (15 inches), la soldadura en la superior será completa hasta borde y en la inferior la soldadura tendrá un espesor de 0,5 centímetros (0,2 inches).

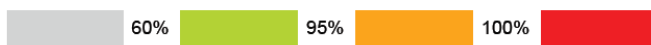
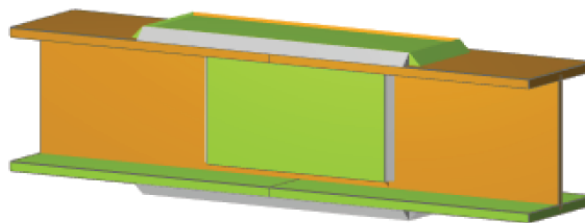
La placa en el alma tendrá un espesor de 1,8 centímetros (0,7 inches) y una longitud de 25 centímetros, la soldadura en su caso será completa.

En todos los casos las placas quedan a 3 centímetros de los extremos o de las alas (en el caso de la placa del alma).

Los esfuerzos calculados en el SAP2000 en la zona más desfavorable son los que emplearemos para su comprobación  $N= 4363,80 \text{ kN}$  y  $M_y: 130 \text{ kNm}$ .

### Forces

Case	Member	N [kip]	Vy [kip]	Vz [kip]	My [kip in]	Mz [kip in]
1	BL	980.9999999999999	0	0	1150	0



### Result

Analysis	100.0%	✓
Plates	4.3 < 5%	✓
Welds	98.3 < 100%	✓
Buckling	Not calculated	

Figura 6-5 Comprobación Unión HEB 360

Aunque la unión está próxima al límite se ha de tener en cuenta que se ha dimensionado con los esfuerzos de una zona sobre la que evitaremos colocar las uniones.

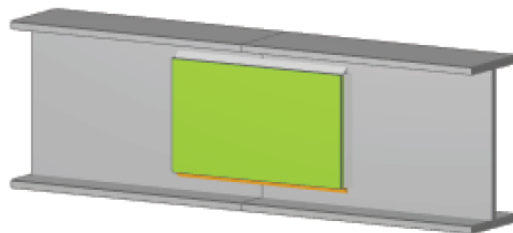
En la siguiente unión que se plantea el cortante es casi nulo y existe un pequeño momento ( $M_y = 9,0 \text{ kNm}$ ) y un axil de compresión ( $92,1 \text{ kN}$ ).

La solución planteada es una unión soldada con chapa en el alma. El acero con el que se está trabajando es el S275, perfil IPE220.

La chapa inferior y superior tendrán un espesor de 1,5 centímetros (0,6 inches) y una longitud de 13 centímetros (5 inches), la soldadura será completa hasta borde.

## Forces

Case	Member	N [kip]	Vy [kip]	Vz [kip]	My [kip in]	Mz [kip in]
1	BL	-20.7	0	0	79.7	0



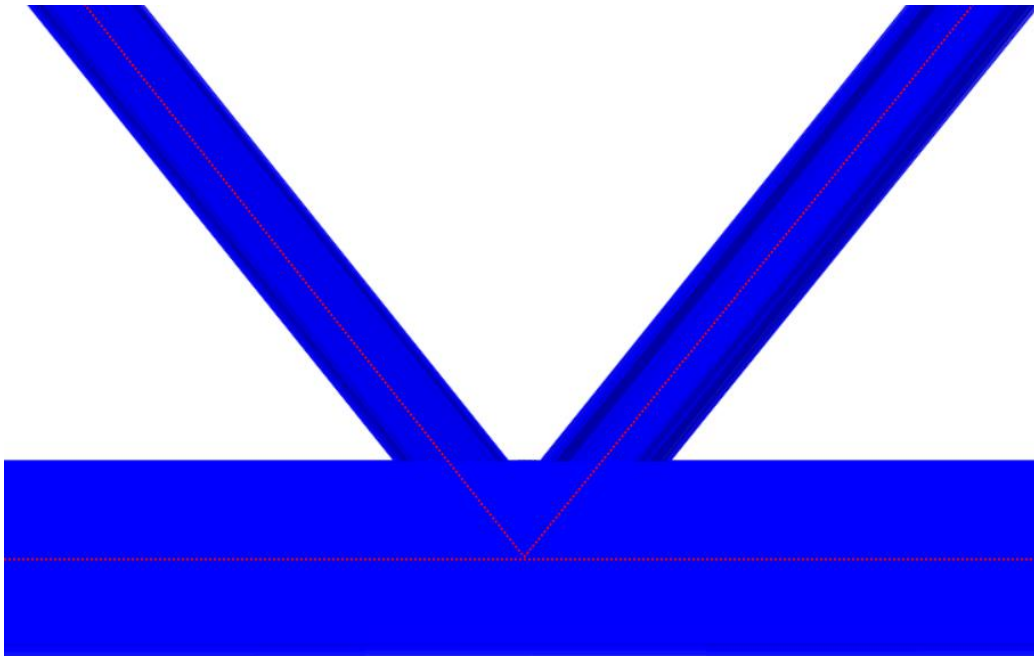
## Result

Analysis	100.0%	✓
Plates	$0.2 < 5\%$	✓
Welds	$98.2 < 100\%$	✓
Buckling	Not calculated	

Figura 6-6 Comprobación Unión IPE 220

En esta unión no es necesario plantear un sistema de uniones a tresbolillo pues las solicitaciones en estas uniones son mucho menores y no suponen una condición restrictiva para la estructura y su disposición constructiva.

Como se ha mencionado anteriormente, el resto de las uniones se soldará en taller y se ensamblará con el resto de la estructura en el taller de pie de obra. Estas celosías irán soldadas sobre los perfiles IPE y HEB manteniendo la geometría de los ejes del modelo calculado como se muestra a continuación:



*Figura 6-7 Detalle constructivo Uniones*

Estas uniones requieren un estudio más detallado para cada una de las uniones, puesto que varían las cargas y los tipos de perfiles para cada situación. Pero las condiciones serán las mismas, los ejes de los perfiles deberán ser coincidentes para mantener los resultados obtenidos en el modelo del SAP2000.

## 7 Anejo de Pretensado

### 7.1 Definición

---

Los alambres pretensados son producto de sección maciza, liso o grafilado, procedente de un estirado en frío o trefilado de alambón, posteriormente sometido a un tratamiento de estabilización, que se suministra normalmente en rollos.

El alambre liso es aquél cuya superficie es la obtenida directamente de la hilera, que mantiene su sección transversal recta constante con independencia de la forma de ésta, y no presenta irregularidades periódicas en sentido longitudinal. Su eje es teóricamente recto.

El alambre grafilado es aquél cuya superficie presenta rehundidos o resaltos (grafilas) periódicamente distribuidos a lo largo de su longitud, con objeto de mejorar su adherencia con el hormigón.

### 7.2 Normas del producto

---

UNE 36094:1997: Alambres y cordones de acero para armaduras de hormigón pretensado.

### 7.3 Características mecánicas mínimas garantizadas

---

Los alambres para pretensado, así como los diámetros nominales son los indicados a continuación:

Tabla 20 Características mecánicas

DESIGNACIÓN	Diámetros nominales (mm)	Carga unitaria máxima (MPa)
Y 1570 C	9,4 - 10	1570
Y 1670 C	7,0 - 7,5 - 8,0	1670
Y 1770 C	3,0 - 4,0 - 5,0 - 6,0	1770
Y 1860 C	4,0 - 5,0	1860

Tabla 21 Características mecánicas

Características	Alambres para pretensado
Módulo elástico	205 kN/mm <sup>2</sup> ±7%
Mínimo alargamiento bajo carga máxima, Agt Lo > 100mm	3,5% Las características mecánicas y geométricas de los alambres para pretensado son las siguientes:
Estricción a la rotura: Alambres lisos Alambres grafilados	> 25% Visible a simple vista
Número mínimo de doblados alternativos: Alambres lisos Alambres grafilados	4 3
Relajación máxima a 1000 h: Al 60% de la carga de rotura real Al 70% de la carga de rotura real Al 80% de la carga de rotura real	1,5% 2,5% 4,5%
Fatiga: Alambres lisos Alambres grafilados	200 N/mm <sup>2</sup> 180 N/mm <sup>2</sup>
Corrosión bajo tensión: Valor mínimo individual Valor mínimo de la medida de los ensayos	1,5 h 4 h

La identificación de cada rollo de alambre se realiza a través de una etiqueta que debe contener los datos siguientes:

- Designación del producto.
- Número del rollo
- Nombre del fabricante y planta de fabricación.
- Identificación del organismo de certificación y número identificativo de la certificación.

La designación del alambre se compondrá de los siguientes símbolos:

- Referencia a la norma del producto (UNE 36094:97).
- Designación del acero, compuesta por:
  - Letra Y indicativa del acero para pretensado.
  - La resistencia nominal en MPa.
  - Letra C indicativo de aceros trefilados.
- diámetro nominal del alambre (mm).
- La letra l cuando se trate de alambres grafilados, seguida de 1 o 2 según el tipo de grafilas. No se añadirá ningún identificador cuando se trate de alambres lisos.

## 7.4 Objetivo

---

El objetivo de nuestros alambres pretensados serán soportar las sobrecargas de uso en ELU, de esta forma, en caso de fallo, la estructura será capaz de soportar el peso propio y cargas asociadas y se podrá realizar una reparación cortando el paso si fuera necesario.

Como conocemos la acción de la sobrecarga de uso el cálculo para los alambres pretensados vendrá dado por esos esfuerzos:

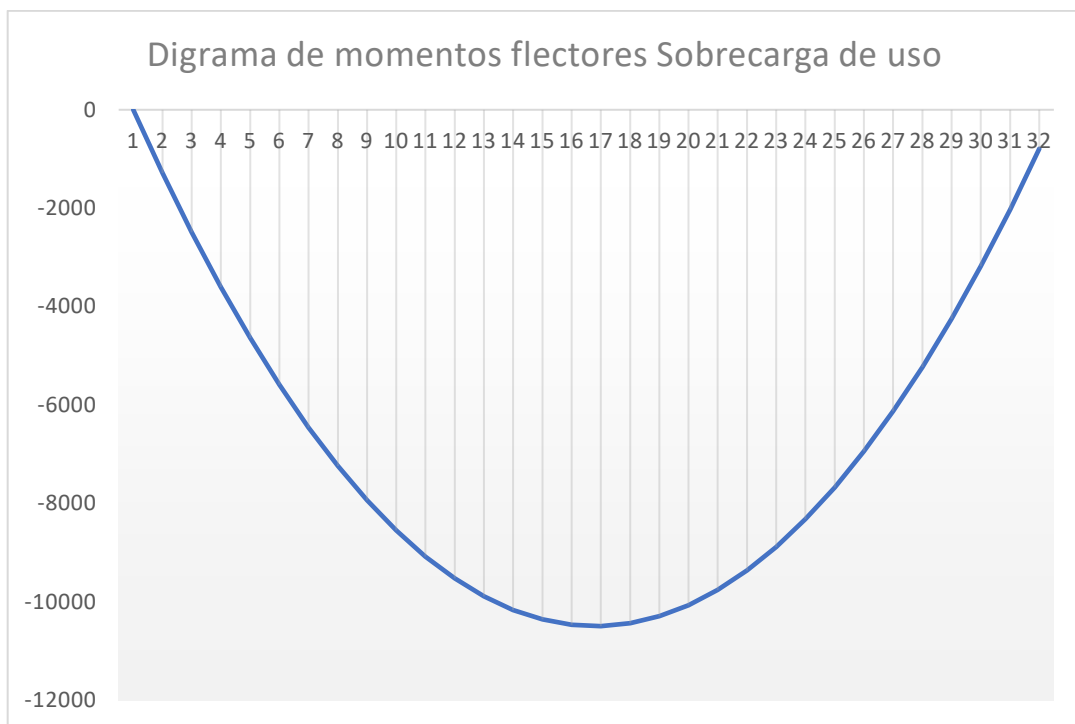


Figura 7-1 Diagrama Flectores Sobrecarga de Uso

## 7.5 Disposición

---

Se dispondrá de dos alambres pretensados que se introducirán entre los perfiles 2x HEB 360 soldados.

La problemática específica de estos tendones radica en que se debe de disponer un sistema que minimice las pérdidas de fuerzas a lo largo del trazado, también se debe ser posible la sustitución cordón a cordón del trazado y garantizar una protección contra la corrosión propia de los cables exteriores expuestos a la intemperie.

Se implanta el sistema de pretensado exterior con lechada de cemento como separador patentado por *Freyssinet*. Este sistema consiste en que cada tendón está formado por una vaina estanca dentro de la cual se enfilan los cordones de pretensado autoprotégidos. Estos tendones

se inyectan antes de tesar, con lo que la lechada rellena el espacio entre cordones y cada uno queda aislado en toda su longitud dentro de su propio conducto de polietileno relleno de grasa.

En el momento de tesar el acero desliza por su propio conducto, que resulta un medio bajo de rozamiento, en torno a un 4%, ya que el cordón está rodeado de por un cilindro plástico engrasado, con lo que se cumple otro condicionante exigido a estos tendones.

La protección contra la corrosión está constituida por la triple barrera que forma:

- Vaina individual de polietileno que recubre cada cordón, espesor de 1,5 mm.
- La grasa que rellena los espacios entre los hilos de acero y la vaina individual.
- La lechada y la vaina de conjunto que constituyen el medio estanco dentro del cual se encuentran los cordones.

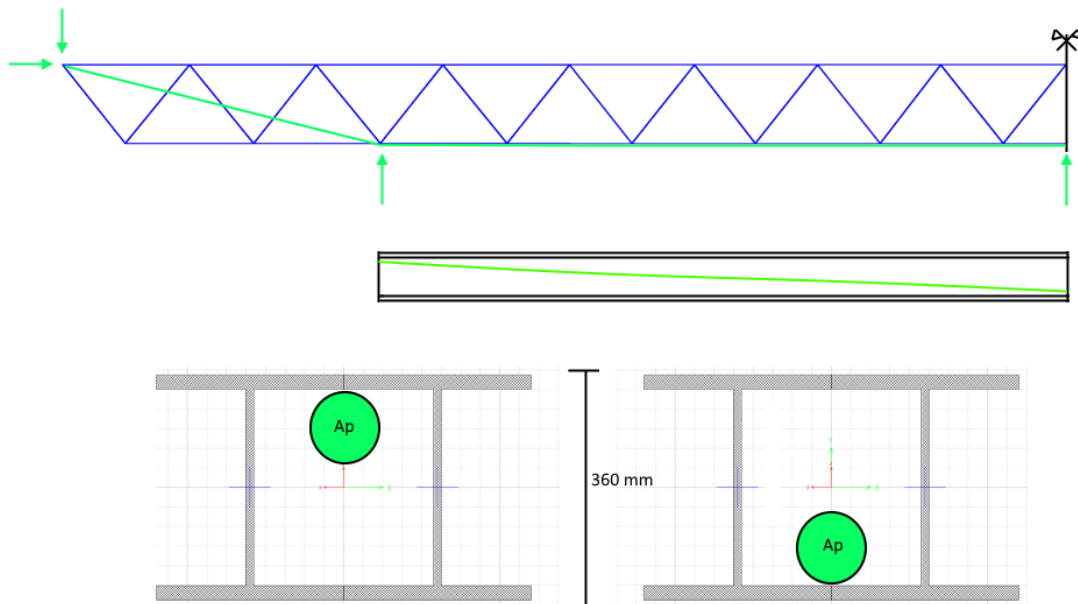


Figura 7-2 Disposición Armadura Activa

Se debe calcular ahora los centros de gravedad de las tres zonas que se verán afectadas por la acción del alambre pretensado, lo ideal será situar la placa de reparto del pretensado en la zona más próxima al centro de gravedad en el apoyo.

El centro de gravedad en la zona de apoyo viene determinado por la losa de hormigón y los perfiles IPE220.

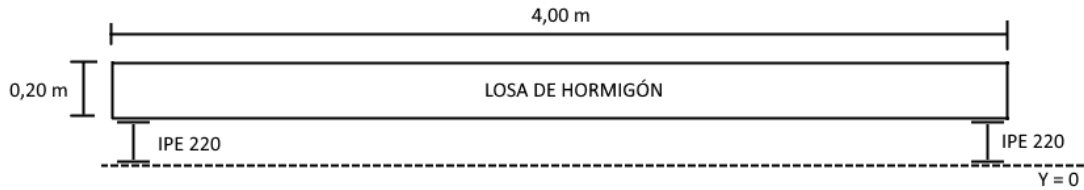


Figura 7-3 Sección Apoyo

El cálculo para el centro de gravedad viene dado por:

Ecuación 1 Cálculo centro de gravedad

$$Y_{c.g.} = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2 + A_3 Y_3 + \dots}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}$$

$$Y_{cg} = \frac{20 * (0,22 + 0,1) + 0,2528 * 0,11}{20 + 0,2628} = 0,317 \text{ m}$$

Por lo tanto, será necesario que el reparto del pretensado se realice en dicho punto, aunque esta requerirá un estudio especial pues el punto de gravedad se encuentra en la zona del hormigón y el pretensado es exterior, por lo que podría ser necesario el empleo de desviadores o placas especiales para lograrlo.

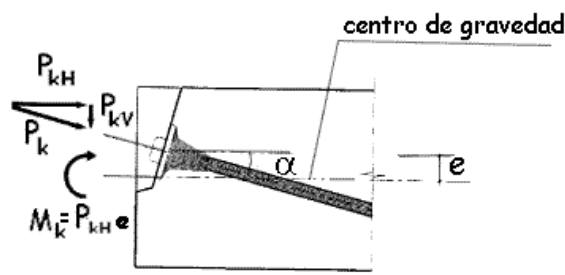


Figura 7-4 Acciones en Anclaje de Pretensado

El segundo caso de estudio se encuentra justo antes de la entrada del pretensado en los perfiles 2xHEB 360, esto se debe a la necesidad de aplicar un desviador que corregirá el trazado del alambre hacia el extremo inferior del perfil en la zona de centro luz. Debido a esta desviación en el trazado el pretensado ejercerá una acción sobre la estructura en ese punto:



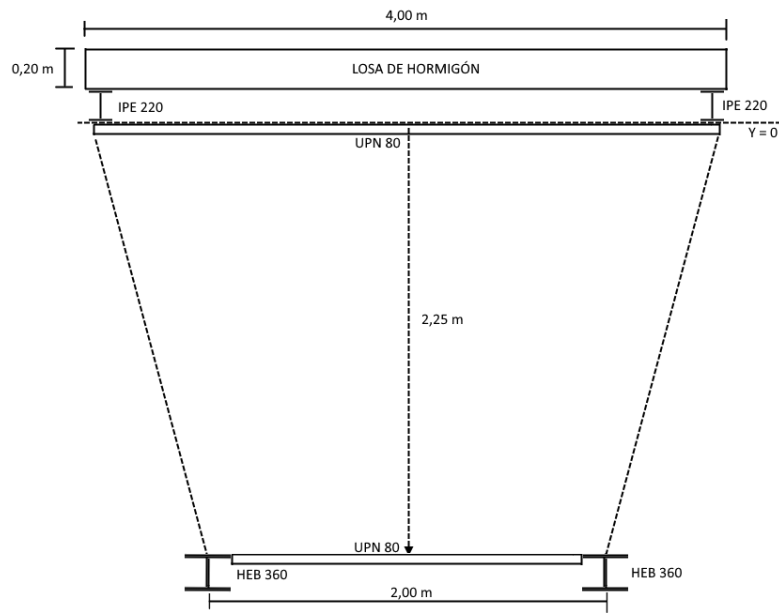


Figura 7-5 Sección Desviador Pretensado

El cálculo viene dado por los resultados de la anterior sección y la adición de los dos perfiles HEB 360 y dos perfiles UPN 80.

$$Y_{cg} = \frac{20,2628 * (0,317) + 0,244 * (-0,04) + 0,122 * (-2,29) + 1,874 * (-2,43)}{20,2628 + 0,244 + 0,122 + 1,874}$$

$$Y_{cg} = 0,07 \text{ m}$$

Por último, nos queda determinar el centro de gravedad en la zona de centro de luz, la cual es la determinante para el cálculo del alambre pretensado, pues es la más crítica del proceso:

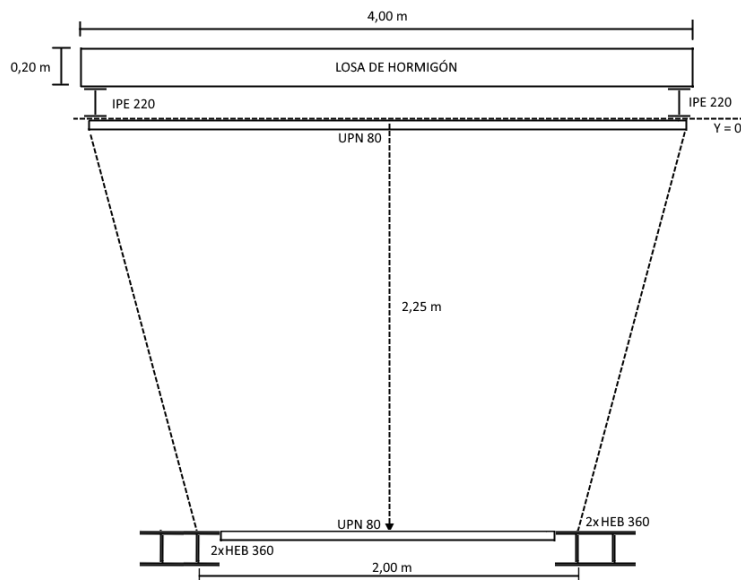


Figura 7-6 Sección Central Pretensado

El cálculo viene dado por los resultados de la anterior sección y la adición de los dos perfiles HEB 360 que van adheridos a los anteriores:

$$Y_{cg} = \frac{22,50 * (0,07) + 1,874 * (-2,43)}{22,50 + 1,874} = -0,122 \text{ m}$$

## 7.6 Fuerza de Tesado

---

Conociendo la distancia del centro de gravedad a la zona de aplicación del alambre podemos determinar la fuerza de tesado necesaria, pues también conocemos que las pérdidas por rozamiento del sistema empleado (4%).

Se sabe que las fuerzas producidas por la sobrecarga de uso en la pasarela es un momento flector de signo negativo de 10 496 kNm. Conocemos también el brazo mecánico que actúa en la zona de centro luz.

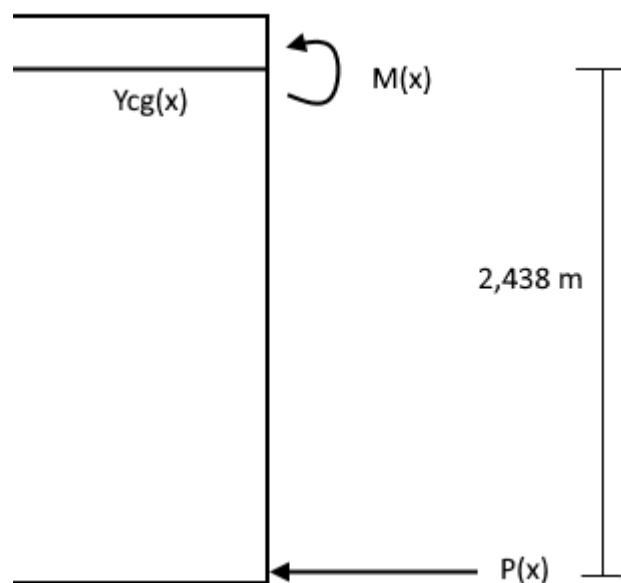


Figura 7-7 Esquema Estructural Centro Luz

Donde  $M(x) \Rightarrow M(32,4) = -10.496 \text{ kNm}$

El brazo mecánico se ha obtenido de la Figura 5-6 ( $2,438 = 2,25 - 0,122 + 0,36 - 0,6$ ) se descuentan 6 centímetros por el posible grosor del alambre y de su recubrimiento.

De esta forma se obtiene que  $P(32,4) = 4 \cdot 305/2 \text{ kN} = 2150,25 \text{ kN}$  (Puesto que son dos alambres)

Las pérdidas son conocidas, del 4%, de forma uniforme, por lo que podemos calcular la Fuerza de Tesado inicial ( $P_0$ ).

$$P_0 = P(x) + \Delta P(x)$$

$$P_0 = P(32,4) + \Delta P(32,4) = 2150,25 \text{ kN} + 89,6 \text{ kN} = 2239,85 \text{ kN}$$

## 7.7 Dimensionamiento pretensado

---

Se realiza el dimensionamiento mediante el cálculo de los límites elásticos para los dos cordones, como ambos son simétricos y están sometidos a los mismos esfuerzos solo es necesario el cálculo de uno.

Se calcula con el acero Y 1860 C.  $f_y = 0,90 * f_{\text{max}}$  siguiendo la norma de la EHE-08 34.3. Por lo tanto, el límite elástico será 1 674 MPa.

El área mínima del acero será de:

$$A_{p,\text{mínima}} = \frac{2239,85 \text{ kN}}{1674 \text{ MPa}} = 1338 \text{ mm}^2$$

Se observa que el número de cordones necesarios ascendería a 69 puesto que el acero Y 1860 C tiene un radio máximo de  $\varnothing 5 \text{ mm}$  (Área de  $19,36 \text{ mm}^2$ ). Esto dificulta la puesta en obra y calculo pues la mayoría de sistema para aplicaciones de postesado interior con cojinete de trompeta oscila entre 2 a 61 cordones.

Se replantea el cálculo esta vez con un acero Y 1770 C el cual, aunque tiene un menos límite elástico permite diámetros nominales mayores ( $\varnothing 6 \text{ mm}$ ).  $f_y = 0,90 * f_{\text{max}}$  siguiendo la norma de la EHE-08 34.3. Por lo tanto, el límite elástico será 1 593 MPa.

$$A_{p,\text{mínima}} = \frac{2239,85 \text{ kN}}{1593 \text{ MPa}} = 1406 \text{ mm}^2$$

Conociendo el área del diámetro  $\varnothing 6$  ( $28,27 \text{ mm}^2$ ) se obtiene que el número de cordones necesarios es de 50 (49,73), para cada alambre.

## 7.8 Acciones Alambre Pretensado

Como se ha mencionado antes las zonas de interacción son la zona de centro luz y la zona donde se aplica el desviador, la zona del apoyo solo tendrá un axil compresivo con valor  $P_0$ .

Se estudia el efecto del pretensado en la zona del desviador:

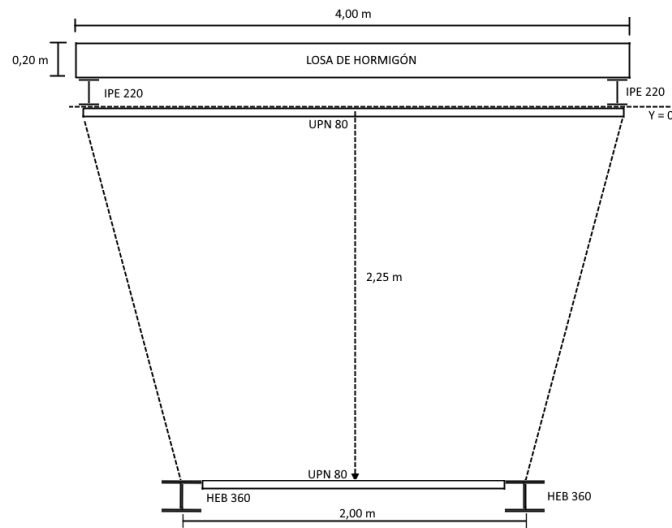


Figura 7-8 Sección Central Pretensado

$$Y_{cg} = 0,07 \text{ m}$$

$$P(10,5) = 2150,25 \text{ kN}$$

$$M_p(10,5) = 5117,6 \text{ kNm}$$

$$(2,38 = 2,25 + 0,7 + 0,6)$$

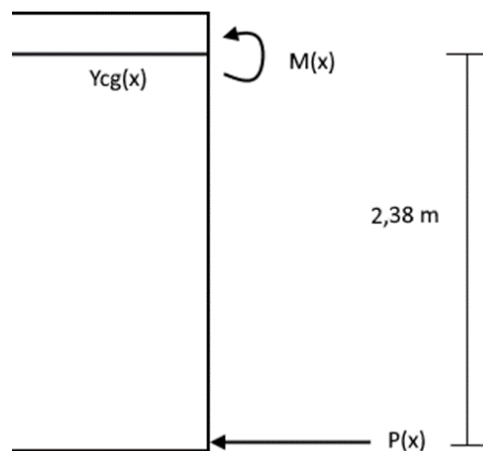


Figura 7-9 Esquema Estructural Zona Desviador

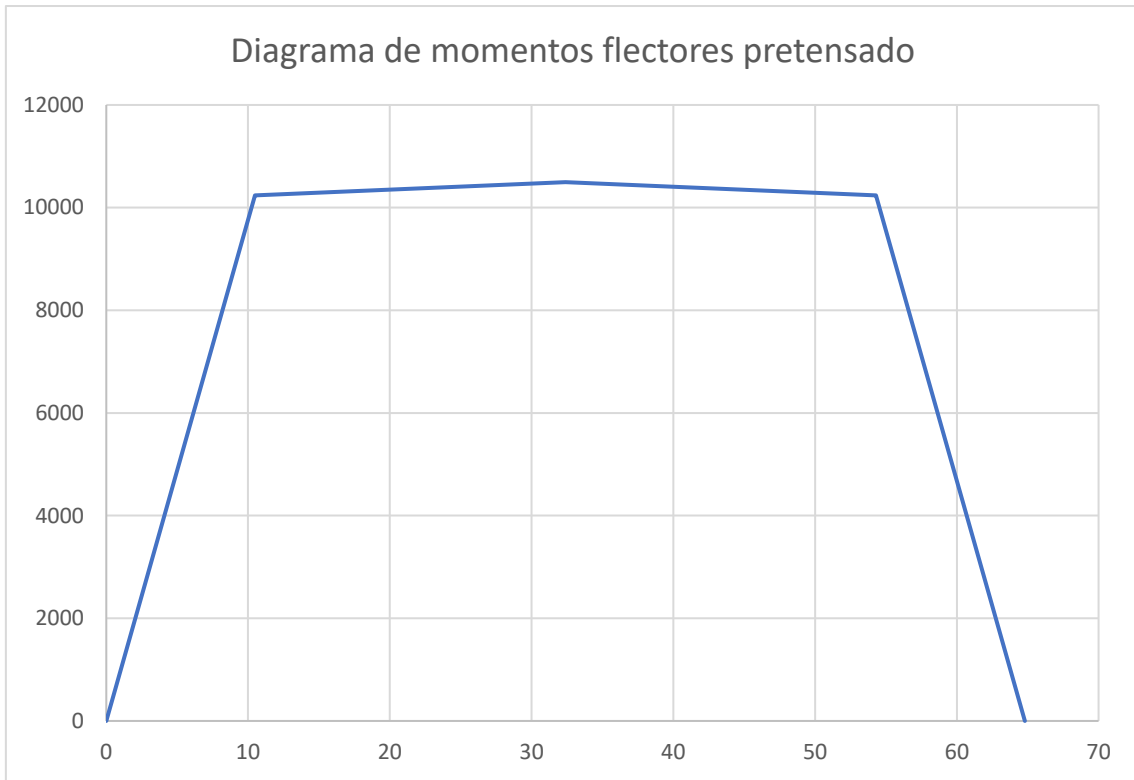


Figura 7-10 Diagrama de momentos flectores pretensado

Se aplica esta nueva iteración al diagrama de momentos obtenidos por la sobrecarga de uso, se aprecia una importante disminución en la sollicitación de la estructura, esto permite una reducción en los perfiles inferiores.

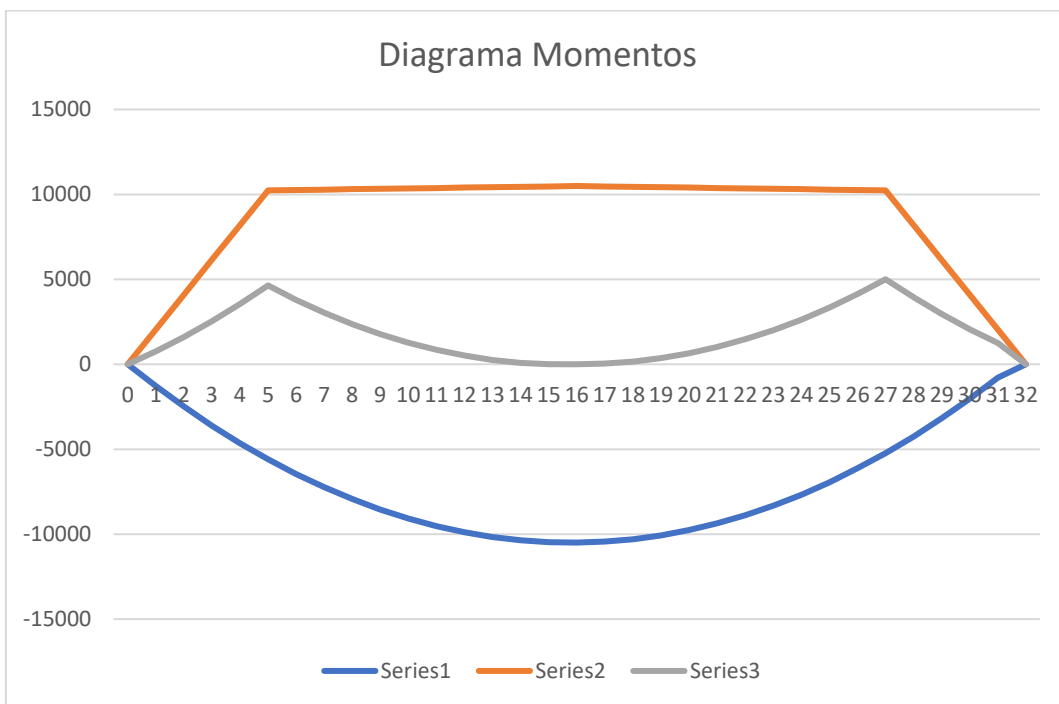


Figura 7-11 Diagrama momentos flectores SU + Alambre Pretensado



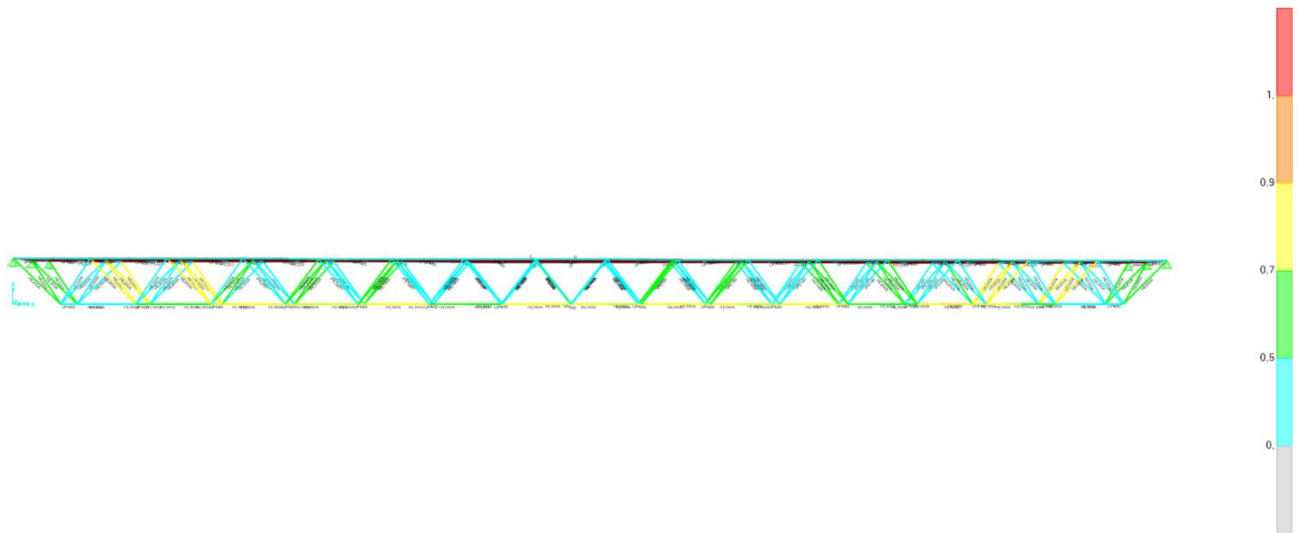


Figura 7-14 Comprobación SAP2000 Modelo Final con Pretensado

Se observa que con esta nueva disposición se consigue una estructura más eficiente, liviana y con un menor costo económico, el listado de las secciones y el peso de los materiales viene dado por las siguientes tablas:

Tabla 22 Secciones del Modelo Final con Pretensado

Section Text	ObjectType Text	NumPieces Unitless	TotalLength	TotalWeight KN
IPE200	Frame	16	53,90605	11,826
IPE220	Frame	36	129,6	33,319
HE140A	Frame	32	107,33126	25,941
HE200A	Frame	56	189,51264	78,48
HE360A	Frame	38	105	115,575
HE360B	Frame	6	16,4	22,849
IPE140	Frame	24	80,49845	10,162
UPN80	Frame	50	164	13,911
Losa de Hor...	Area			1295,617

Tabla 23 Peso Propio de la estructura 4ª Iteración

ObjectType Text	Material Text	TotalWeight KN	NumPieces Unitless
Frame	S275	312,062	258
Area	HA-30	1295,617	

## 7.10 Conclusión

Respecto al anterior modelo planteado en la 3ª Iteración, se obtiene que el peso total del acero es de 446,34 kN (Anejo de cálculo, tabla 9), la estructura con el pretensado tiene un peso de acero S275 de 312,06 kN, lo cual supone un ahorro del 30% del material.

La reducción total gracias a la acción del pretensado es de 133,90 kN (13,65 tn), a lo que además habría que añadir el coste que suponen los perfiles compuestos como sería el caso del 2xHEB 360.

Se sabe que de la 3ª Iteración el peso de los perfiles compuestos es de 237,84 kN (Anejo de Cálculo tabla 10), conociendo el coste unitario por metro de los elementos compuestos:

Tabla 24 Coste unitario perfiles compuestos

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Materiales</b>			
	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas compuestas, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	1,03	1,03
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>1,03</b>
<b>2</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>			
	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,20	0,06
			<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>		<b>0,06</b>
<b>3</b>		<b>Mano de obra</b>			
	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,019	19,67	0,37
	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,011	18,63	0,20
			<b>Subtotal mano de obra:</b>		<b>0,57</b>
<b>4</b>		<b>Costes directos complementarios</b>			
	%	Costes directos complementarios	2,000	1,66	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>1,69</b>

Coste Compuestos Modelo 3ª Iteración = 24,25 tn (237,84 kN) \* 1690 €/tn = 41 438,8 €

Tabla 25 Coste unitario perfiles simples

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
<b>1</b>		<b>Materiales</b>			
	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	0,96	0,96
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>0,96</b>
<b>2</b>		<b>Equipo y maquinaria</b>			
	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,20	0,06
			<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>		<b>0,06</b>
<b>3</b>		<b>Mano de obra</b>			
	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,019	19,67	0,37
	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,011	18,63	0,20
			<b>Subtotal mano de obra:</b>		<b>0,57</b>
<b>4</b>		<b>Costes directos complementarios</b>			
	%	Costes directos complementarios	2,000	1,59	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>1,62</b>

Coste Simples Modelo 3ª Iteración = 21,26 tn (208,50 kN) \* 1620 €/tn = 35 056,8 €

Coste Simples Modelo Final+Pretensado: 31,82 tn (312,06 kN) \* 1620 €/tn = 51 580,8 €



El ahorro por lo tanto en material viene dado por la diferencia de ambos costes, pues la losa de hormigón permanece invariable en ambos modelos.

Ahorro en materiales =  $(41\,438,8 \text{ €} + 35\,056,8 \text{ €}) - 51\,580,8 \text{ €} = 24\,914,8 \text{ €}$  por pasarela. Teniendo en cuenta que disponemos de dos pasarelas para el paso sobre el río el ahorro total es de **49 829,6 €**.

En este ahorro se debería descontar el coste de la aplicación del pretensado, así como la contratación de personal cualificado para su correcta aplicación.

Por otro lado, una de las acciones del pretensado es la creación de una contra flecha que ayuda a mitigar la aparición de flecha en nuestra estructura debido a las acciones de peso propio y sobrecarga de uso.

Del modelo SAP2000 planteado con pretensado obtenemos que la flecha producida por el peso propio es de 0,1743 metros y la producida por las sobrecargas de uso es de 0,1417 metros, lo cual supera el límite del ELS, pero a esto hemos de añadir una contra flecha debida a la acción del pretensado de 0,32 metros.

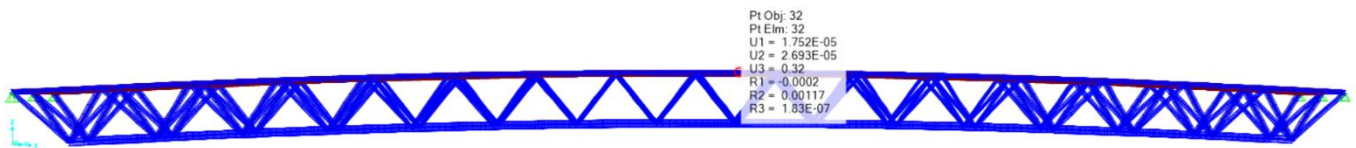


Figura 7-15 Contra flecha debida a la acción del pretensado

Se queda por lo tanto una flecha total en estado ELU de 4 mm, en fase ELS esta flecha se sitúa en -0,09 metros, es decir, en una contra flecha de 9 centímetros debido al coeficiente de combinación para la pasarela de 0,4 en las acciones debidas a la sobrecarga de uso ( $0,4 * 0,1417 = 0,056 \text{ m}$ ).

Tabla 26 Frecuencia estructura final con pretensado

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
MODAL	Mode	1	0,880549	1,13565511...	7,13553152...	50,9158101...

La estructura tiene también un mejor comportamiento que el modelo previamente planteado debido a que su frecuencia natural se encuentra a 1,135 Hz, la cual esta por debajo de 1,5 Hz, por lo tanto, no es necesario ningún estudio o necesidad de amortiguamiento.

Además, queda por añadir el factor de la seguridad y reparación, ya que la estructura está planteada de forma que sin la acción del pretensado pueda soportar las acciones producidas por

el peso propio, de esta forma, en caso de fallo de los alambre o necesidad de reparación, la estructura es capaz de sostenerse por sí misma con el paso cortado mientras se realizan las acciones que se necesiten.

En la siguiente figura podemos ver cuál es el comportamiento de la estructura sin las acciones de pretensado ni las acciones debidas a la sobrecarga de uso:

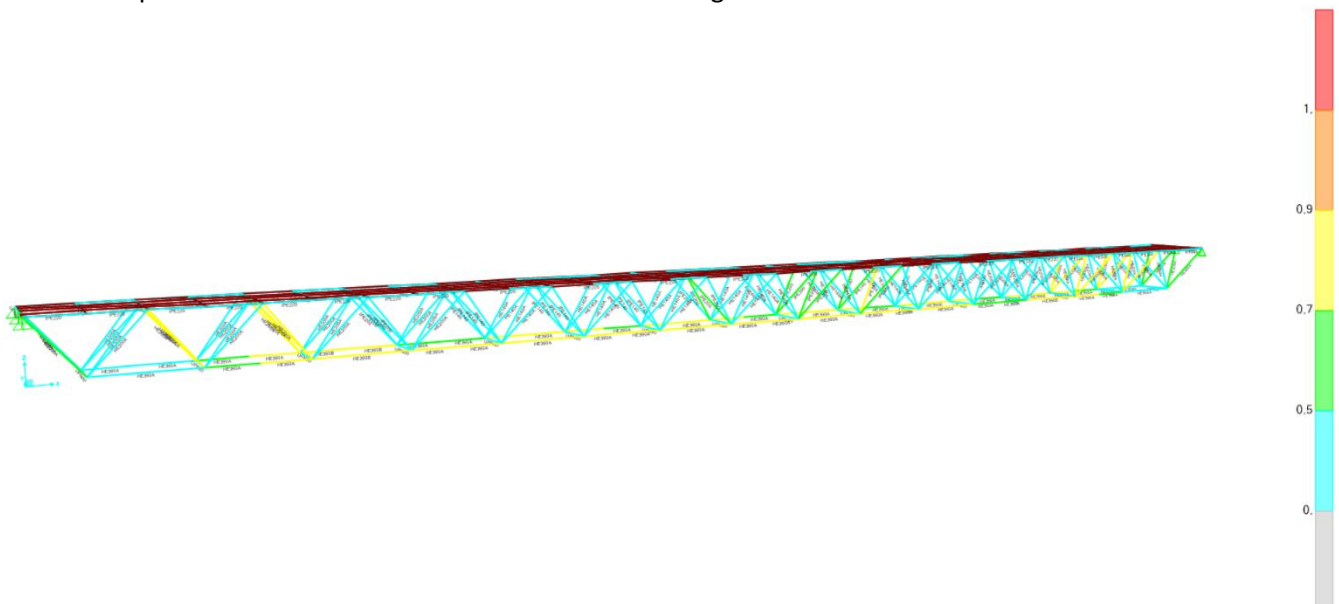


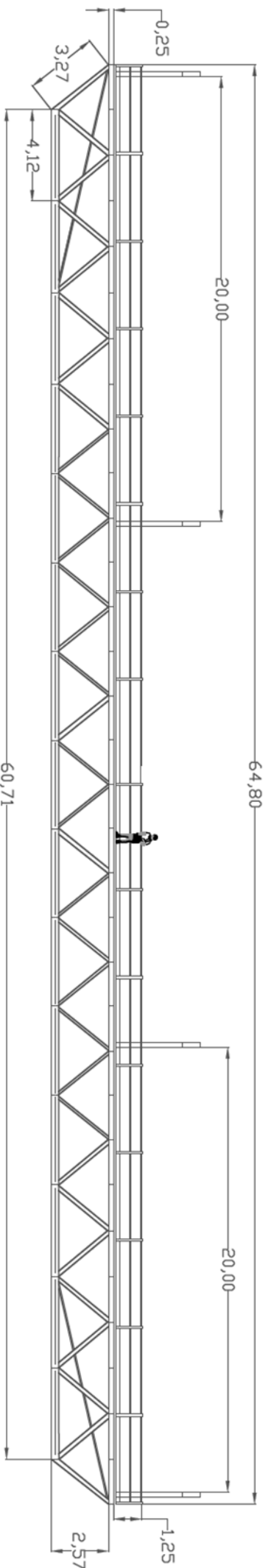
Figura 7-16 Comprobación SAP2000 Modelo sin SU ni Pretensado

Esto es un gran factor a la seguridad y a la puesta en obra, pues permite construir toda la estructura, incluidas las losas de hormigón, colocar las pasarelas y tras ello realizar la operación de tesado en la estructura.

Como conclusión se plantea que salvo un costo excesivo de la operación de tesado esta alternativa será claramente más ventajosa que la propuesta anteriormente debida principalmente a tres factores determinantes:

- Seguridad. La estructura tiene cierto grado de respuesta ante un imprevisto que permite realizar labores de mantenimiento o reparaciones de manera sencilla y segura.
- Adaptabilidad. La estructura responde mejor a las necesidades y solicitudes que genera el paso propio de los viandantes como son la flecha y la frecuencia propia.
- Rentabilidad. Salvo un coste mayor de 50 000€ por las operaciones del tesado esta sigue siendo una opción más económica que además es menos compleja de ejecutar debido al menos número de soldaduras necesarias.

## 8 Anejo de Planos



Proyecto básico de pasarela de estructura mixta combinada con pretensado  
 Proyecto: exterior para conectar el barrio de Batoy con el polígono Santiago Payá en Alcoy

Plano: Alzado Celosía Pasarela

Plano Nº 1

ESCALA

Curso: 4º GIDP

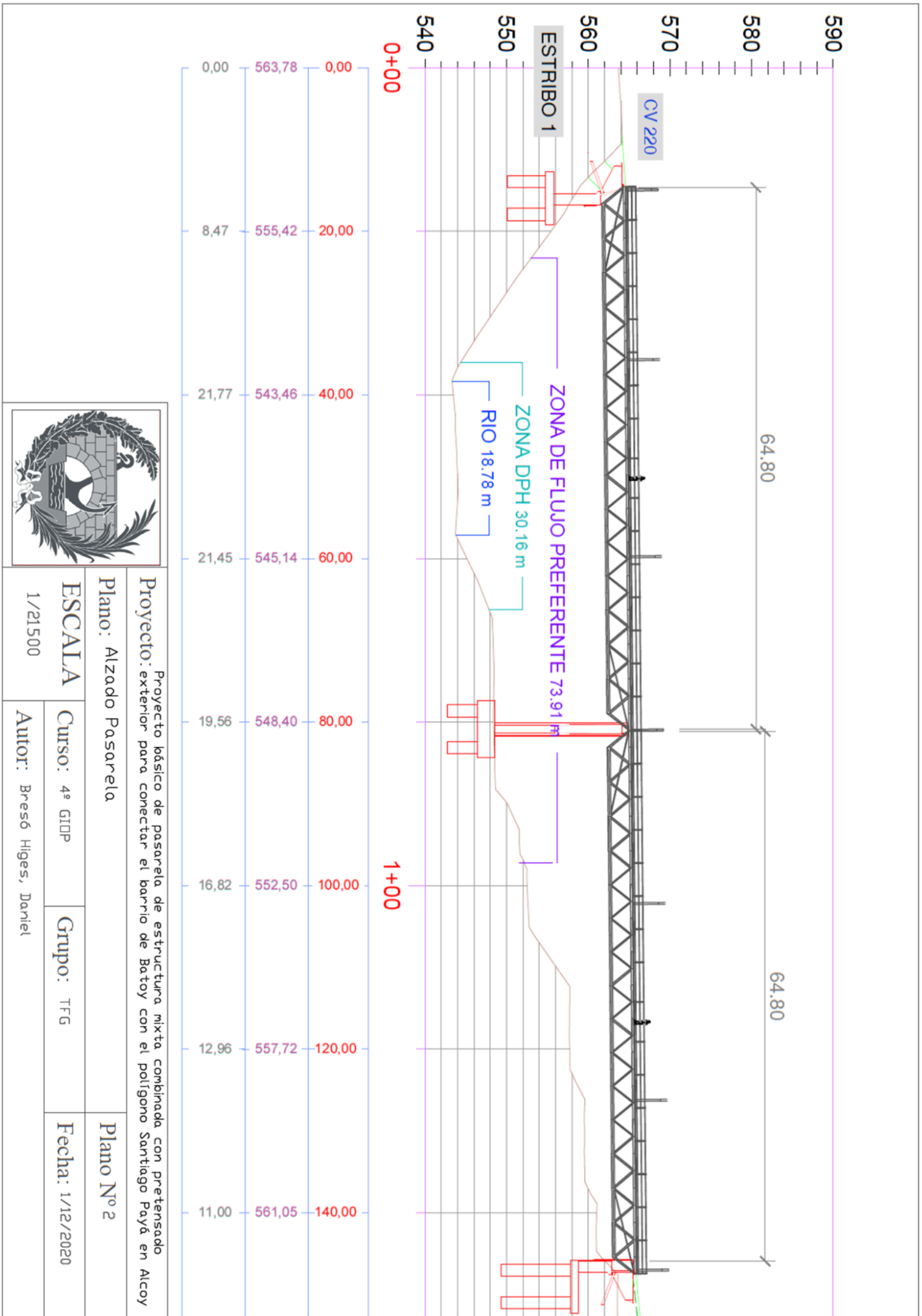
Grupo: TFG

Fecha: 1/12/2020

1/10000

Autor: Bresó Higes, Daniel





Proyecto básico de pasarela de estructura mixta combinada con pretensado  
 Proyecto: exterior para conectar el barrio de Batoy con el polígono Santiago Payá en Alcoy

Plano: Alzado Pasarela

Plano Nº 2

ESCALA

Curso: 4º GIDP

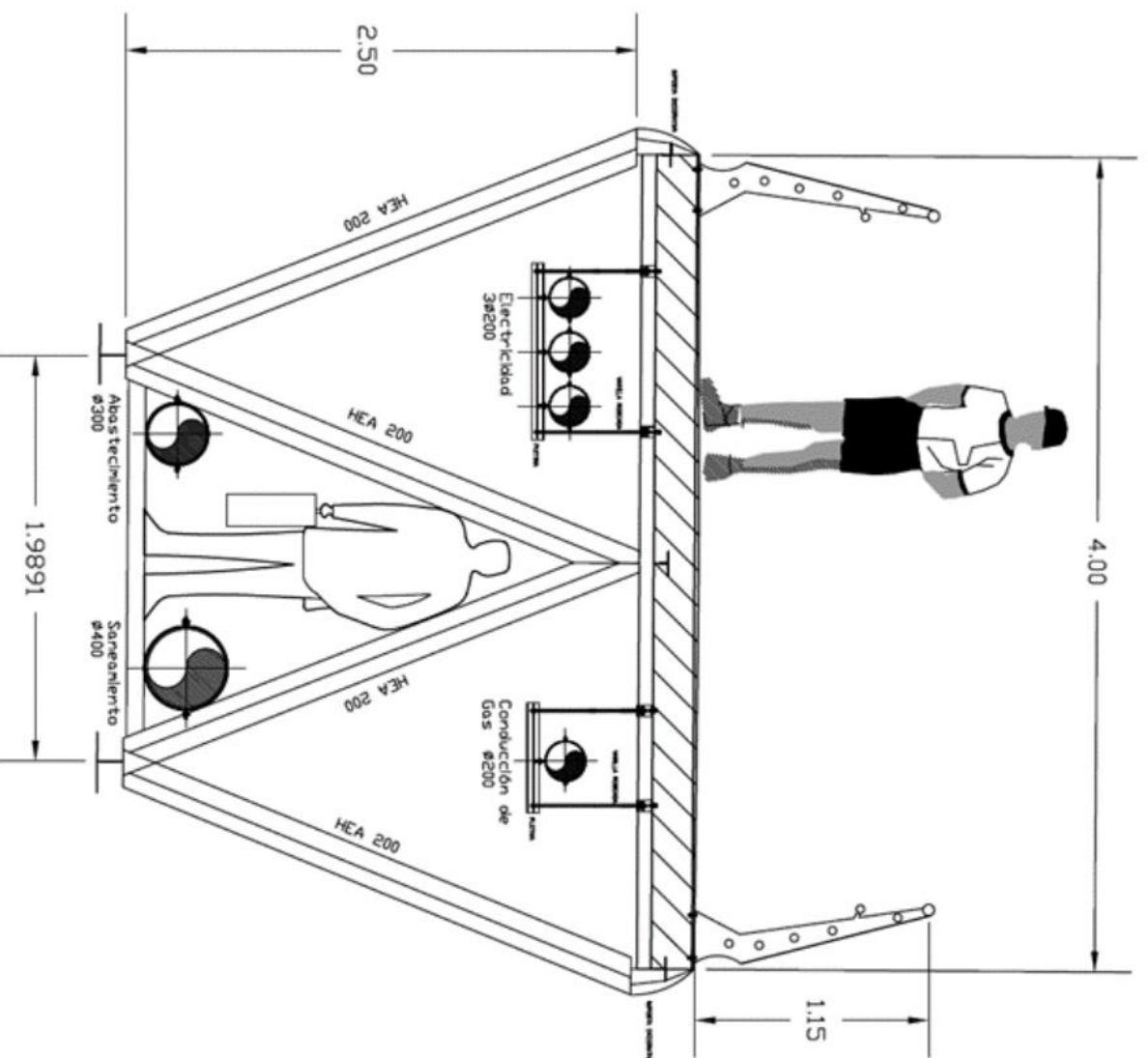
Grupo: TFG

Fecha: 1/12/2020

1/21500

Autor: Bresó Higes, Daniel





Proyecto básico de pasarela de estructura mixta combinada con pretensado  
 Proyecto: exterior para conectar el barrio de Batoy con el polígono Santiago Payá en Alcoy

Plano: Sección Viario

Plano Nº 3

ESCALA

Curso: 4º GIDP

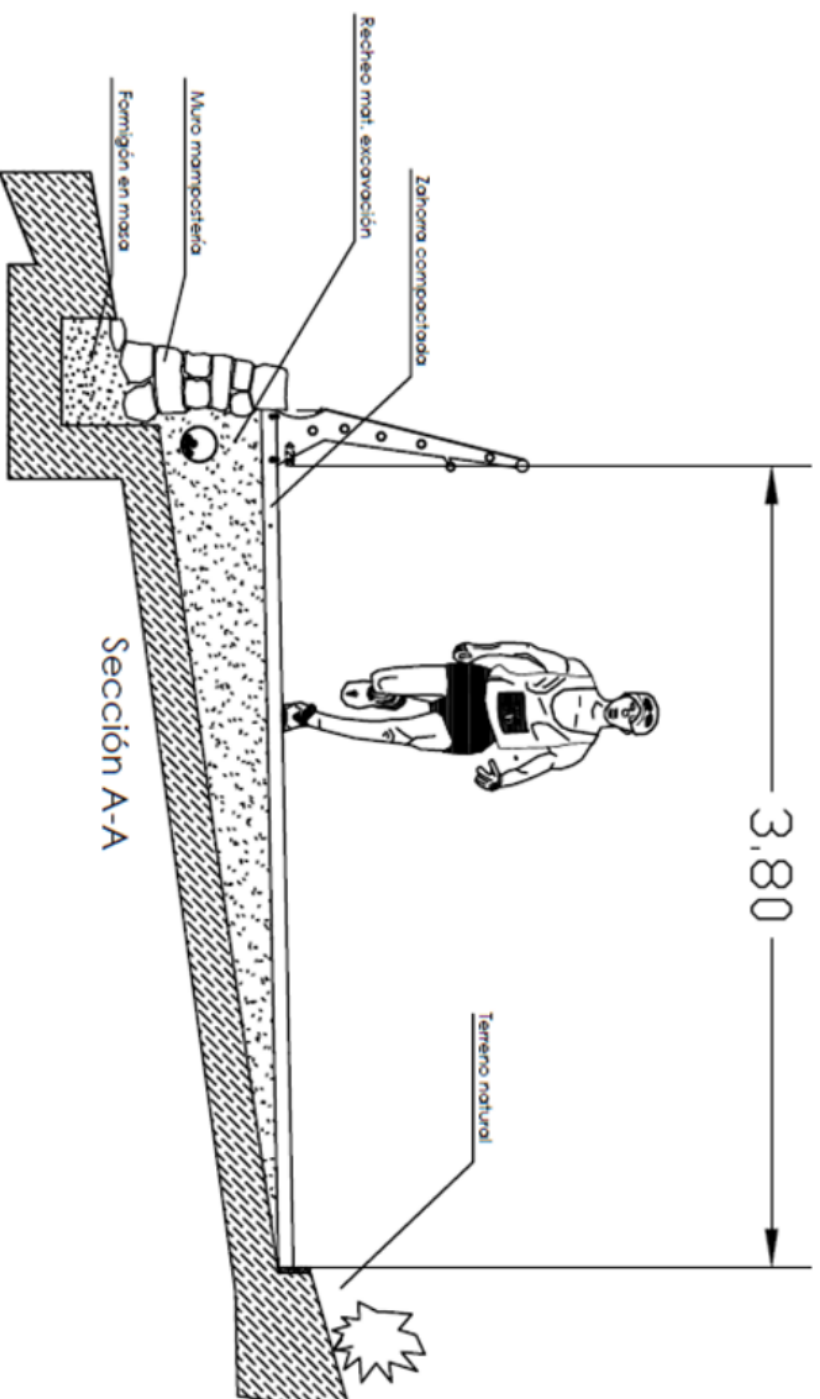
Grupo: TFG

Fecha: 1/12/2020

1/1250

Autor: Bresó Higes, Daniel





Sección A-A

Proyecto básico de pasarela de pasarela de estructura mixta combinada con pretensado  
 Proyecto: exterior para conectar el barrio de Bato y con el polígono Santiago Payá en Alcoy

Plano: Sección Acceso

Plano Nº 4



ESCALA

Curso: 4º GIDP

Grupo: TFG

Fecha: 1/12/2020

1/1250

Autor: Bresó Higes, Daniel

## 9 Anejo de Presupuestos

Este anejo se dividirá en dos partes, en la primera se realizará una estimación de los costes en materiales de las dos soluciones planteadas, estructura con y sin pretensado, para poder realizar una valoración aproximada de cada una de las soluciones y sus beneficios.

La segunda parte se realiza una estimación de las horas de trabajo y material empleado para la realización del trabajo, teniendo en cuenta las horas de los docentes y de los alumnos.

### 9.1 Valoración económica de los materiales

Gracias a la implementación de los modelos en SAP2000 conocemos de manera exacta tanto los metros lineales de cada uno de los perfiles como sus pesos, por lo que podemos calcular los costes con unidades de obra por pesos de material.

#### 9.1.1 Solución sin pretensado

Esta solución se realiza en la “Tercera iteración SAP2000”, esta estructura se ha dimensionado sin la acción del pretensado, por lo que es una estructura con unos perfiles y pesos mayores.

ObjectType Text	Material Text	TotalWeight KN	NumPieces Unitless
Frame	S275	446,343	258
Area	HA-30	1295,617	

Tabla 27 Peso Propio estructura 3ª iteración

Section Text	ObjectType Text	NumPieces Unitless	TotalLength	TotalWeight KN
IPE200	Frame	8	27,07323	5,939
IPE220	Frame	36	129,6	33,319
HE100A	Frame	8	26,83282	4,379
HE140A	Frame	16	53,66563	12,971
HE200A	Frame	64	216,34545	89,592
HE360A	Frame	14	32,8	36,103
2xHEB360	Frame	30	88,6	237,84
IPE100	Frame	8	26,83282	2,127
IPE140	Frame	24	80,49845	10,162
UPN80	Frame	50	164	13,911
Losa de Hor...	Area			1295,617

Tabla 28 Secciones del Modelo Final



Esta solución dispone de perfiles compuestos (2xHEB360) que son ligeramente más caros debidos a la soldadura de estos:

Tabla 29 Coste unitario perfiles compuestos

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1	kg	<b>Materiales</b> Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas compuestas, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	1,03	1,03
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>1,03</b>
2	h	<b>Equipo y maquinaria</b> Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,20	0,06
			<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>		<b>0,06</b>
3	h	<b>Mano de obra</b> Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,019	19,67	0,37
	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,011	18,63	0,20
			<b>Subtotal mano de obra:</b>		<b>0,57</b>
4	%	<b>Costes directos complementarios</b> Costes directos complementarios	2,000	1,66	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>1,69</b>

Coste Compuestos Modelo 3ª Iteración = 24,25 tn (237,84 kN) \* 1690 €/tn = **(CUARENTA Y UN MIL CUATROCIENTOS TREINTA Y OCHO EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS (41 438,80 €))**

Tabla 30 Coste unitario perfiles simples

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1	kg	<b>Materiales</b> Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	0,96	0,96
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>0,96</b>
2	h	<b>Equipo y maquinaria</b> Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,20	0,06
			<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>		<b>0,06</b>
3	h	<b>Mano de obra</b> Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,019	19,67	0,37
	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,011	18,63	0,20
			<b>Subtotal mano de obra:</b>		<b>0,57</b>
4	%	<b>Costes directos complementarios</b> Costes directos complementarios	2,000	1,59	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>1,62</b>

Coste Simples Modelo 3ª Iteración = 21,26 tn (208,50 kN) \* 1620 €/tn = **TREINTA Y CINCO MIL CINCUENTA Y SEIS EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS (35 056,80 €)**

Queda calcular la losa mixta de 20 cm de canto, con chapa colaborante de acero galvanizado con forma grecada, de 0,75 mm de espesor, 44 mm de altura de perfil y 172 mm de intereje, 10 conectores soldados de acero galvanizado, de 19 mm de diámetro y 81 mm de altura y hormigón armado realizado con hormigón HA-30/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, volumen total de hormigón 0,162 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>; acero UNE-EN 10080 B 500 S, con una cuantía total de 1 kg/m<sup>2</sup>; y malla electrosoldada ME 15x30 Ø 6-6 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080; apoyado todo ello sobre estructura metálica. Incluso piezas angulares para remates perimetrales y de voladizos, tornillos para fijación de las chapas, alambre de atar y separadores.

El precio incluye la elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y el montaje en el lugar definitivo de su colocación en obra, pero no incluye la estructura metálica. El precio será el mismo para ambos modelos.

Tabla 31 Coste unitario m<sup>2</sup> de losa

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Coste unitario	Importe
1		<b>Materiales</b>			
	m <sup>2</sup>	Perfil de chapa de acero galvanizado con forma grecada, de 0,75 mm de espesor, 44 mm de altura de perfil y 172 mm de intereje, 7 a 8 kg/m <sup>2</sup> y un momento de inercia de 30 a 40 cm <sup>4</sup> .	1,050	18,09	18,99
	m	Pieza angular de chapa de acero galvanizado, para remates perimetrales y de voladizos.	0,040	27,20	1,09
	Ud	Tomillo autotaladrante rosca-chapa, para fijación de chapas.	6,000	0,12	0,72
	Ud	Separador homologado para losas.	3,000	0,08	0,24
	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	1,000	0,81	0,81
	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,028	1,10	0,03
	m <sup>2</sup>	Malla electrosoldada ME 15x30 Ø 6-6 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080.	1,150	1,33	1,53
	m <sup>2</sup>	Hormigón HA-30/B/20/IIa, fabricado en central.	0,170	82,65	14,05
	Ud	Conector de acero galvanizado con cabeza de disco, de 19 mm de diámetro y 81 mm de altura, para fijar a estructura de acero mediante soldadura a la chapa colaborante.	10,000	0,69	6,90
	m <sup>3</sup>	Agua.	0,005	1,50	0,01
		<b>Subtotal materiales:</b>			<b>44,37</b>
2		<b>Equipo y maquinaria</b>			
	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura de conectores.	0,500	17,57	8,79
		<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>			<b>8,79</b>
3		<b>Mano de obra</b>			
	h	Oficial 1º montador de estructura metálica.	0,620	19,67	12,20
	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,240	18,63	4,47
	h	Oficial 1º ferrallista.	0,035	19,67	0,69
	h	Ayudante ferrallista.	0,033	18,63	0,61
	h	Oficial 1º estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,036	19,67	0,71
	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,146	18,63	2,72
		<b>Subtotal mano de obra:</b>			<b>21,40</b>
4		<b>Costes directos complementarios</b>			
	%	Costes directos complementarios	2,000	74,56	1,49
		<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>			<b>76,05</b>

Coste Losa Modelo 3ª Iteración/Pretensado = 4 m\*64,80 m \* 76,05 €/m<sup>2</sup> = **DIECINUEVE MIL SETECIENTOS DOCE EUROS CON DIECISÉIS CÉNTIMOS (19 712,16 €)**

Por lo tanto, el coste aproximado en material del modelo obtenido en la tercera iteración de SAP2000 es igual a: 41 438,8 € + 35 056,8 € + 19 712,16 € = **96 207,76 €** por tramo.

2 tramos: **CIENTO NOVENTA Y DOS MIL CUATROCIENTOS QUINCE EUROS CON CINCUENTA Y DOS CÉNTIMOS (192 415,52 €)**

### 9.1.2 Solución con pretensado

Para esta opción solo debemos calcular los costes de los perfiles simples, puesto que no existen perfiles compuestos y el precio de la losa es el mismo que en el anterior modelo:

Tabla 32 Secciones del Modelo Final con Pretensado

Section Text	ObjectType Text	NumPieces Unitless	TotalLength	TotalWeight KN
IPE200	Frame	16	53,90605	11,826
IPE220	Frame	36	129,6	33,319
HE140A	Frame	32	107,33126	25,941
HE200A	Frame	56	189,51264	78,48
HE360A	Frame	38	105	115,575
HE360B	Frame	6	16,4	22,849
IPE140	Frame	24	80,49845	10,162
UPN80	Frame	50	164	13,911
Losa de Hor...	Area			1295,617

Tabla 33 Peso Propio de la estructura 4ª Iteración

ObjectType Text	Material Text	TotalWeight KN	NumPieces Unitless
Frame	S275	312,062	258
Area	HA-30	1295,617	

Tabla 34 Coste unitario perfiles simples

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1	kg	<b>Materiales</b> Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	0,96	0,96
			<b>Subtotal materiales:</b>		<b>0,96</b>
2	h	<b>Equipo y maquinaria</b> Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,20	0,06
			<b>Subtotal equipo y maquinaria:</b>		<b>0,06</b>
3	h	<b>Mano de obra</b> Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,019	19,67	0,37
	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,011	18,63	0,20
			<b>Subtotal mano de obra:</b>		<b>0,57</b>
4	%	<b>Costes directos complementarios</b> Costes directos complementarios	2,000	1,59	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			<b>Costes directos (1+2+3+4):</b>		<b>1,62</b>

Coste Simple Modelo Pretensado: 31,82 tn (312,06 kN) \* 1620 €/tn = **CINCUENTA Y UN MIL QUINIENTOS OCHENTA EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS (51 580,8 €)**

Por lo tanto, el coste aproximado en material del modelo obtenido con pretensado es igual:

$$51 580,8 \text{ €} + 19 712,16 \text{ €} = \mathbf{71 292,96 \text{ €}} \text{ por tramo.}$$

2 tramos: **CIENTO CUARENTA Y DOS MIL QUINIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS (142 585,92 €)**

El ahorro en materiales viene definido entonces por la diferencia de ambas estimaciones:

**Ahorro estimado en materiales = 192 415,52 € - 142 585,92 € = CUARENTA Y NUEVE MIL OCHOCIENTOS VEINTINUEVE EUROS CON SESENTA CÉNTIMOS (49 829,60 €)**

En este ahorro se tendría que entrar en mayor detalle sobre los costes de aplicación del pretensado de manera singular, así como los costes asociados de construcciones de una estructura más pesada para la colocación y diseño de uniones.

## 9.2 Coste en Recursos Humanos del Proyecto

---

En este apartado se calcula el presupuesto que ha supuesto la realización del Trabajo Fin de Grado, para ello es necesario dividir los costes en función de su origen:

### 9.2.1 Coste de personal

---

Se asume un trabajo estimado de 4 horas diarias para el desarrollo del proyecto durante 5 días a la semana durante 6 meses, se obtiene por lo tanto un total de 480 horas invertidas por el autor en el trabajo.

Se debe añadir también las horas dedicadas por los tutores al proyecto, en las que entran las labores de planificación, resolución de dudas, análisis y búsqueda de problemas, reuniones, correcciones y demás.

Tabla 35 Coste Personal Implicado

	Tiempo dedicado (horas)	Coste unitario (€/hora)	Coste total:
Autor	480	15	7200 €
Tutores	30	70	2100 €
TOTAL PERSONAL:			9300 €

### 9.2.2 Coste informático

---

Durante el desarrollo del proyecto se han empleado diferentes programas informáticos específicos para la redacción del proyecto, diseño y comprobación de elementos y de la estructura, los costes asociados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 36 Coste del SOFTWARE empleado

	Periodo Utilizado (meses)	Coste unitario (€/mes)	Coste total:
SAP200	4	195	780 €
AutoCAD	3	279	837 €
Paquete Office	6	110	660 €
TOTAL SOFTWARE:			2277 €

Coste Total: **ONCE MIL QUINIENTOS SETENTA Y SIETE EUROS (11 577 €)**

## 10Objetivos de Desarrollo Sostenible Agenda 2030

Relación del TFG “Proyecto básico de pasarela de estructura mixta combinada con pretensado exterior para conectar el barrio de Batoy con el polígono Santiago Payá en Alcoy (Alicante).” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. <b>Fin de la pobreza.</b>				X
ODS 2. <b>Hambre cero.</b>				X
ODS 3. <b>Salud y bienestar.</b>				X
ODS 4. <b>Educación de calidad.</b>				X
ODS 5. <b>Igualdad de género.</b>				X
ODS 6. <b>Agua limpia y saneamiento.</b>				X
ODS 7. <b>Energía asequible y no contaminante.</b>				X
ODS 8. <b>Trabajo decente y crecimiento económico.</b>		X		
ODS 9. <b>Industria, innovación e infraestructuras.</b>	X			
ODS 10. <b>Reducción de las desigualdades.</b>				X
ODS 11. <b>Ciudades y comunidades sostenibles.</b>			X	
ODS 12. <b>Producción y consumo responsables.</b>				X
ODS 13. <b>Acción por el clima.</b>				X
ODS 14. <b>Vida submarina.</b>				X
ODS 15. <b>Vida de ecosistemas terrestres.</b>		X		
ODS 16. <b>Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>				X
ODS 17. <b>Alianzas para lograr objetivos.</b>				X

Descripción de la alineación del TFG con los ODS con un grado de relación más alto.

Este Trabajo Fin de Grado tiene relación con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, los ODS con los que más relación tienen son:

**× ODS 25. Trabajo decente y crecimiento económico.**

La construcción de una nueva vía de comunicación siempre supone un nuevo movimiento tanto social como económico, por lo tanto, un acceso directo entre el Barrio de Batoy y el Polígono industrial de Santiago Payá supone una comunicación directa entre la zona residencial y la zona industrial de la ciudad que beneficiará el desarrollo económico de la zona.

Esta conexión permite acceder al lugar de trabajo de manera peatonal o en bicicleta sin la necesidad de desplazarse en vehículo, lo cual supone una mejora en la calidad de vida y accesibilidad al lugar de trabajo.



**× ODS 26. Industria, innovación e infraestructuras.**

Como se ha estudiado en el proyecto, la disposición de una nueva tipología constructiva frente a la tradicional puede suponer un menor coste y también una mejora de prestaciones tanto para la seguridad del usuario como para la facilidad constructiva.

La aplicación del pretensado en una estructura metálica ha permitido un ahorro en material de aproximadamente 50 000€, lo cual también se traduce en una menor huella de carbono. Además, permite una forma constructiva más segura para los operarios al permitir un montaje en taller a pie de obra.

Hay que tener en cuenta también la facilidad para reparaciones ante averías o mantenimiento, debido a la adaptabilidad que nos permite la aplicación del pretensado a la estructura.

**× ODS 32. Vida de ecosistemas terrestres.**

Aunque no de manera directa, el proyecto plantea una solución al paso del río con la menor afección posible al mismo, añadir que la ruta de acceso a la pasarela ha sido planteada de manera que tenga la mayor integración paisajística posible gracias a la implementación en la botánica de especies autóctonas.

El uso de especies autóctonas evita la intrusión de especies invasoras en el entorno y muestra a los usuarios la flora que caracteriza su región.