



Pasarela sobre el Barranco de las Ovejas

Memoria de Cálculo

**Pedro Serna Ros
Juan Navarro Gregori
Juan Ángel López Martínez
Esteban Camacho Torregrosa**

Mayo 2012

ÍNDICE

1 CÁLCULOS ESTRUCTURALES DE LA PASARELA	4
1.1 Definición geométrica de la pasarela	4
1.1.1 Cordón comprimido (CC).....	5
1.1.2 Cordón Traccionado (CT).....	6
1.1.3 Diagonal Comprimida (DC).....	6
1.1.4 Diagonal Traccionada (DT).....	6
1.1.5 Diagonal de la triangulación inferior (DI)	7
1.1.6 Viga lateral de apoyo del tablero en la celosía (VTAB)	7
1.1.7 Rigidización transversal del tablero (RIGTAB)	7
1.1.8 Tablero (TAB).....	7
1.2 Normativas y recomendaciones para el cálculo	8
1.3 Características de los materiales	8
1.3.1 Hormigón	8
1.3.2 Armadura pasiva.....	9
1.3.3 Armadura activa.....	9
1.4 Coeficientes de seguridad.....	10
1.5 Acciones consideradas	11
1.5.1 Acciones permanentes.....	11
1.5.2 Acciones permanentes de valor no constante	11
1.5.3 Pretensado.....	11
1.5.4 Acciones variables	12
1.6 Análisis estructural.....	17
1.6.1 Idealización de la estructura	17
1.6.2 Casos de carga	19
1.6.3 Hipótesis de combinación de acciones	19
1.6.4 Esfuerzos de cálculo.....	28
1.7 Cálculo de la pasarela	39
1.7.1 Pérdidas de pretensado.....	39
1.7.2 Estado límite último de equilibrio	40
1.7.3 Dimensionamiento en rotura.....	40
1.7.4 Dimensionamiento en servicio.....	57

1.8 Dimensionamiento de los neoprenos..... 67

1 CÁLCULOS ESTRUCTURALES DE LA PASARELA

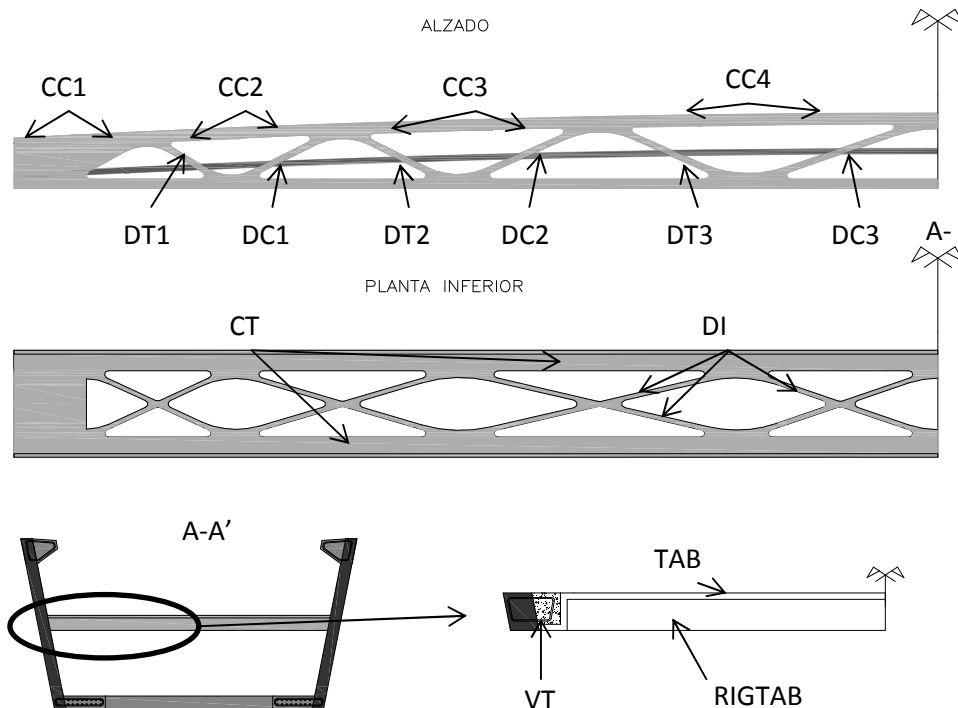
A continuación se describen los cálculos justificativos para el dimensionamiento y comprobación de la seguridad estructural y de los requisitos de durabilidad y confort en servicio de la pasarela.

1.1 Definición geométrica de la pasarela

La pasarela está constituida por numerosos elementos con diferentes geometrías, secciones y armado. Para esclarecer el cálculo y comprobación de los elementos se muestra la siguiente figura, en la que se pueden observar los distintos elementos que componen la pasarela y la designación que se le ha dado a cada uno de los elementos que la componen.

Su significado se describe a continuación:

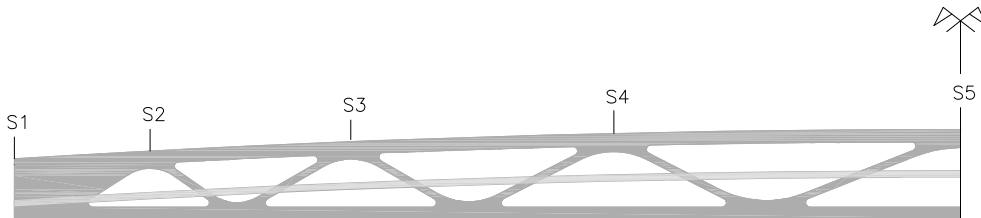
- **Cci** : cordón comprimido número i. Geometría variable entre cada nudo.
- **Ct**: cordón traccionado. Geometría y armado constante en toda la pasarela.
- **Dti**: Diagonal traccionada número i, su longitud varía a lo largo de la pasarela
- **Dci**: Diagonal comprimida número i, longitud variable a lo largo de la pasarela
- **DI**: Diagonal de la triangulación inferior. Todos los elementos que la componen tienen las mismas características.
- **TAB**: Superficie por la que transitan los peatones
- **VTAB**: Viga lateral de apoyo del tablero en las celosías
- **RIGTAB**: Elementos de rigidización transversal del tablero



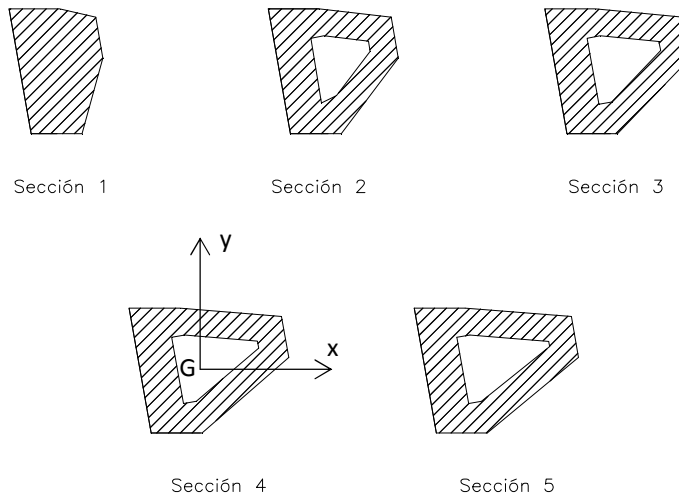
Designación de los elementos de la pasarela

1.1.1 Cordón comprimido (CC)

El cordón comprimido tiene una sección variable a lo largo de la longitud de la pasarela. Conforme nos acercamos a centro luz, su inercia tanto vertical como transversal se hace mayor. En la siguiente figura se muestran las secciones del CC en los nudos de encuentro con las diagonales. Su variación entre los nudos es lineal. El aligeramiento se mantiene constante a lo largo de toda la longitud entre nudos, siendo el correspondiente a la sección más cercana al apoyo.



Secciones de cambio de geometría en el cordón superior



Geometría del cordón superior en cada sección

Las medidas del cordón inferior pueden consultarse en el documento “Planos”

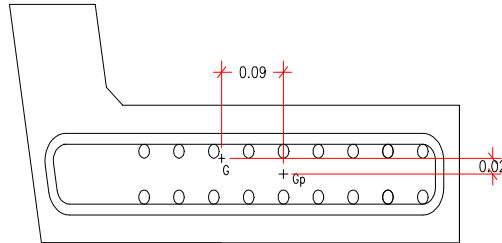
Aunque el cordón se proyecta como variable a lo largo de la longitud entre secciones, para el cálculo se considera que en cada tramo la sección del cordón es uniforme e igual al de la sección anterior. De tal forma, que el cordón CCI tiene la sección transversal de la Sección i, para los valores de “i” desde 1 hasta 4. Las propiedades geométricas utilizadas para las diferentes secciones se muestran en la siguiente tabla.

Sección	A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	L	λ _x	λ _y
1	530.5	36372	15271	8.28	5.37	3.25	-	-
2	563.0	42952	37680	8.73	8.18	4.75	54.41	58.07
3	601.7	45913	52586	8.74	9.35	6.25	71.51	65.60
4	642.4	48832	69169	8.72	10.38	8.25	94.61	79.47

Características geométricas y mecánicas de los cordones comprimidos

1.1.2 Cordón Traccionado (CT)

El cordón traccionado mantiene su sección uniforme a lo largo de toda la estructura. Su geometría se muestra en la siguiente figura. Además, se muestran las propiedades mecánicas del cordón así como la posición de los cables de armadura activa.



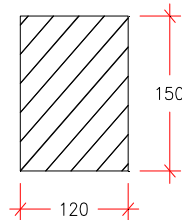
Geometría del cordón inferior

Sección	A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	e _{px} (cm)	e _{py} (cm)
CT	1057	38458	375575	8.9	1.7

Características geométricas y mecánicas del cordón traccionado

1.1.3 Diagonal Comprimida (DC)

Las diagonales comprimidas tienen la misma sección transversal aunque difieren en su longitud. Poseen una sección rectangular de 0.15 m en el plano de la celosía y de 0.12 m en el plano transversal a la misma. Su sección y características mecánicas se muestran a continuación.



Geometría de la diagonal comprimida

Sección	A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)	L	λ _x	λ _y
1	180	3375	2160	4.33	3.46	1.56	36.03	45.09
2	180	3375	2160	4.33	3.46	1.86	42.96	53.76
3	180	3375	2160	4.33	3.46	2.87	66.28	82.94

Características geométricas y mecánicas de las diagonales comprimidas

1.1.4 Diagonal Traccionada (DT)

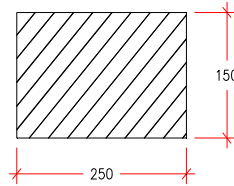
Las diagonales traccionadas tienen la misma sección que las diagonales comprimidas, a excepción de la diagonal traccionada DT-1 que tiene una sección de 120x200mm

1.1.5 Diagonal de la triangulación inferior (DI)

Posee la misma sección transversal y propiedades que las diagonales traccionadas (DT) y las comprimidas (DC).

1.1.6 Viga lateral de apoyo del tablero (VTAB)

La viga lateral de apoyo del tablero tiene una canto total de 0.15 m y un ancho de 0.25 m. Se trata de una viga continua, con una luz máxima de 4.6 metros entre apoyos. Su sección es rectangular tal y como se muestra en la siguiente figura. Las características mecánicas se encuentran en la siguiente tabla.



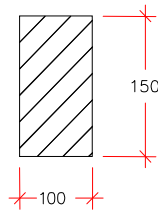
Geometría de la viga lateral de apoyo del tablero

A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)
375	7031	19531

Características geométricas y mecánicas de la viga lateral de apoyo del tablero

1.1.7 Rigidización transversal del tablero (RIGTAB)

Los elementos que sirven para rigidizar el tablero son rectangulares con una sección de 0.15 m de ancho y 0.08 m de canto. Se encuentran espaciados cada 1.6 metros y siempre uno de ellos se ubica en la zona de unión de la viga lateral del tablero con la triangulación.



Geometría de los rigidizadores transversales del tablero

A(cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)
150	2812	1250

Características geométricas y mecánicas de los rigidizadores del tablero

1.1.8 Tablero (TAB)

El tablero forma parte de la propia estructura además de servir de capa de rodadura. El espesor propuesto para el tablero es de 3 cm.

1.2 Normativas y recomendaciones para el cálculo

El uso del HMARF se encuentra actualmente limitado debido a la falta de normativa aceptada por la comunidad que permita optimizar las posibilidades de este nuevo material. El estudio del material y la aplicación estructural desarrollados en el presente proyecto se basan en las disposiciones de la EHE-08 y a las “Recomendaciones Provisionales” francesas, aunque se conoce la existencia de otros documentos del RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures), FIB (Fédération Internationale du Béton), DAfSTB (Comité Aleman para el Hormigón Armado), entre otros.

Recomendaciones Francesas para HMARF son el primer y principal documento, redactado por el AFGC (Asociación Francesa de Ingenieros Civiles) y la SETRA (Agencia Gubernamental Francesa de Tráfico y Carreteras). Se trata de un grupo de diferentes organizaciones públicas y privadas que trabajan en el desarrollo de estos nuevos materiales.

Por su parte, la “Instrucción de Hormigón Estructural” hace referencia a los hormigones con fibras en su Anejo nº14, en el que se considera el posible comportamiento de endurecimiento por deformación al obtener la ley tensión-deformación a tracción. Es la única referencia oficial a materiales de este tipo, aunque el grado de desarrollo es inferior al de otros países de la U.E.

Conviene destacar el papel que este nuevo material puede representar en la modernización, conservación y reparación de las estructuras construidas, debido a su elevada durabilidad y la posibilidad de utilizarlo en espesores reducidos con un pequeño peso propio.

Los modelos y recomendaciones que se describen a continuación consideran al HMARF como un material homogéneo. Para conseguir una mayor precisión para la aplicación concreta, debe modificarse la ley tensión-deformación en función de la dirección de las cargas, ya que la orientación de las fibras es un factor que afecta directamente a la capacidad del elemento para soportar los esfuerzos.

Para la redacción del presente proyecto se han considerado las siguientes normativas y recomendaciones:

- EHE-08
- Recomendaciones de la AFGC
- IAP-2011
- NCSP-07
- EC-2

1.3 Características de los materiales

1.3.1 Hormigón

Los parámetros elásticos del hormigón que se han considerado aparecen en la Tabla 1.1.

Parámetros elásticos	
E_{c28}	44000 MPa
E_{c7}	40000 MPa
ν	0.2

Tabla 1: Parámetros elásticos del hormigón

Los parámetros mecánicos del hormigón a 7 días (edad elegida para la transferencia del pretensado) y a 28 días se muestran en la Tabla 2. La notación de los diferentes parámetros se corresponde con los indicados en la Figura 1-1.

	7 d	28 d	Ud.
f_{ck}	110	150	MPa
ϵ_{ck}	0.0035	0.0035	-
ϵ_{celk}	0.00234	0.0029	-
f_{tk}	7.5	10	MPa
ϵ_{tk}	0.0001111	0.0001111	-
f_{tek}	8	11	MPa
ϵ_{tek}	-	-	-
f_{tuk}	0	0	MPa
ϵ_u	-	-	-

Tabla 2: Parámetros mecánicos del hormigón

Según la recomendación de la AFGC para hormigones de alto rendimiento, los parámetros ϵ_{tek} y ϵ_u se obtienen según el canto del elemento “h” y “ L_f ” la longitud de la fibra más larga con las fórmulas siguientes:

$$\epsilon_{tek} = \frac{0.0015}{h} + \frac{f_{tk}}{E_c} \quad \epsilon_u = \frac{3L_f}{8h}$$

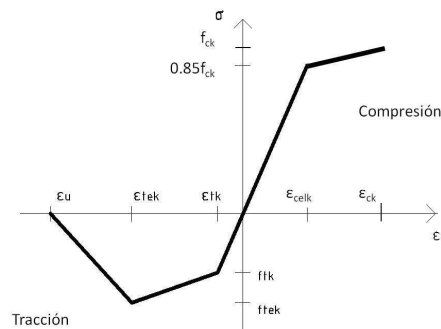


Figura 1-1: Curva constitutiva característica del hormigón

El coeficiente de dilatación térmica del hormigón se toma igual a $1, \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

1.3.2 Armadura pasiva

Se emplea acero B500SD como armadura pasiva. Se considera un módulo de elasticidad de 200000 MPa y un límite elástico de 500 MPa siguiendo los criterios de la EHE-08. En rotura, se admite una deformación máxima del 10%.

1.3.3 Armadura activa

Los cordones utilizados como armadura activa son de acero tipo Y 1860 S7. El módulo de elasticidad considerado ha sido de 190000 MPa. El límite elástico considerado ha sido del 88% de la carga unitaria de rotura del acero. De esta forma, la carga unitaria de rotura es 1860 MPa y el límite elástico 1636.8 MPa. Los cordones tienen un diámetro nominal de 15.2 mm (0.6”) y un área de 150 mm².

1.4 Coeficientes de seguridad

Los coeficientes de seguridad adoptados para las acciones, de acuerdo con la "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera" (IAP-11) son:

Estados Límite Últimos (ELU)

Acción	Efecto	
	Favorable	Desfavorable
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0 / 1,35
	Carga muerta	1,0 / 1,35
Permanente de valor no constante (G*)	Pretensado P_1	1,0 / 1,2 ⁽¹⁾ / 1,3 ⁽²⁾
	Reológicas	1,0 ⁽²⁾ / 1,35
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0 / 1,35
	Acciones climáticas	0 / 1,5

(1) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,2$ será de aplicación al pretensado P_1 en el caso de verificaciones locales tales como la transmisión de la fuerza de pretensado al hormigón en zonas de anclajes, cuando se toma como valor de la acción el que corresponde a la carga máxima (tensión de rotura) del elemento a tensar.

(2) El coeficiente $\gamma_{G^*} = 1,3$ se aplicará al pretensado P_1 en casos de inestabilidad (pandeo) cuando ésta pueda ser inducida por el axil debido a un pretensado exterior.

Estados Límite Servicio (ELS)

Tipo de acción		Situación persistente o transitoria	
		Favorable	Desfavorable
Permanente		1.00	1.00
Permanente de valor no	Pretensado	0.95	1.05
	Reológica	1.00	1.00
Variable		0.00	1.00

Los coeficientes de seguridad adoptados para los materiales son los siguientes:

Material	ELU Pers/Trans	ELU Accidental	ELS
Hormigón	1.50 (Compresión) 1.30 (Tracción)	1.30	1.0
Acero en armaduras pasivas	1.15	1.00	1.0
Acero en armaduras activas	1.15	1.00	1.0

Los coeficientes adoptados para la definición de los valores representativos "de combinación", "frecuente" y "cuasipermanente", de las acciones variables son:

Acción		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2	
Sobrecarga de uso	gr 1, Cargas verticales				
	Sobrecarga de uso en pasarelas	0,4	0,4	0	
Viento	F_{sk}				
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	T_k	0,6	0,6	0,5	
Nieve	Q_{sk}	En construcción	0,8	0	0
Acción del agua	W_k				
Sobrecargas de construcción					

1.5 Acciones consideradas

Para el análisis de la pasarela se han considerado las acciones características especificadas en la "Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera IAP-11" según se indica a continuación.

1.5.1 Acciones permanentes

1.5.1.1 *Peso propio*

El peso propio se aplica a cada uno de los elementos en función de su área. Se considera un peso específico para el hormigón incluyendo las armaduras de 25 KN/m^3 .

1.5.1.2 *Carga muerta*

Como consecuencia del paso de servicios que se prevé en el cordón inferior, se ha aplicado en uno de ellos una carga muerta de 0.2 KN/m uniformemente distribuida en toda su longitud

1.5.1.3 *Pavimento*

El pavimento es parte integrante de la estructura y su acción queda incluida dentro de la acción de peso propio.

1.5.1.4 *Barandilla*

La barandilla es parte integrante de la estructura y su acción queda incluida dentro de la acción de peso propio.

1.5.2 Acciones permanentes de valor no constante

Estas acciones son debidas a los efectos de retracción y fluencia. Sus valores se han extraído de la Recomendación de la AFGC.

1.5.2.1 *Retracción*

La retracción en el HMAR es fundamentalmente autógena. El valor que propone la recomendación de la AFGC para el valor de retracción final es del 0.525 por mil. En este proyecto se establece en un 0.3 por mil a los 7 días y en un 0.9 por mil a tiempo final. Se ha optado por un valor superior para la retracción final tras consulta de estudios llevados a cabo por diversos autores sobre la materia.

1.5.2.2 *Fluencia*

El valor del coeficiente de fluencia a tiempo infinito del HMAR, considerando que la transferencia del pretensado es a los 7 días del hormigonado, se toma igual a 1.57.

1.5.3 Pretensado

La pasarela contiene un total de 36 cordones Y 1860 S7. Se trata de un conjunto de armaduras activas pretesas, que se tesan a una tensión del 70% de la carga unitaria de rotura (1302 MPa), dando lugar a una fuerza de pretensado de 3515.4 KN por cada uno de los cordones. Para el cálculo de las pérdidas diferidas de pretensado se han utilizado los siguientes coeficientes:

Retracción final $\epsilon_{cs}=0.0009$

Fluencia final: $\phi = 1.57$

Relajación final: $\rho_f = 0.0073$

Para el cálculo de las pérdidas de pretensado hasta la transferencia se han estimado en base a los datos procedentes de una empresa prefabricadora que recientemente ha experimentado ya con piezas pretensadas de hormigón de muy alta resistencia. Se va suponer que la transferencia del pretensado se produce a los 7 días del hormigonado.

1.5.4 Acciones variables

Se incluyen dentro de este apartado la sobrecarga de uso, las acciones debido al viento y las acciones climáticas (viento, nieve y temperatura).

1.5.4.1 Sobrecarga de uso

La sobrecarga de uso característica que propone la norma IAP-11 es una sobrecarga uniforme de 5 KN/m^2 aplicada sobre el tablero actuando en todas las formas posibles. Esta se ha considerado actuando en la totalidad del tablero o en cada una de las mitades del mismo.

Además de la sobrecarga de uso vertical, es necesario añadir una sobrecarga horizontal de valor el 10% de la carga vertical, es decir una sobrecarga horizontal aplicada en el tablero de 0.5 KN/m^2 .

Se añade, además, una sobrecarga uniforme que actúa de manera simultánea a las anteriores en la barandilla en una dirección perpendicular a su longitud y de valor 1.5 KN/m .

La comprobación local a punzonamiento del tablero exige resistir una carga de 10 KN repartida en una superficie de $0.1 \times 0.1 \text{ m}^2$.

1.5.4.2 Acciones climáticas

1.5.4.2.1 Viento

Según la normativa IAP-2011, para acciones persistentes y transitorias se toma un período de retorno de 100 años. Para este período de retorno y teniendo en cuenta que la estructura está en Alicante, la velocidad básica para el citado período de retorno es de 28.03 m/s .

Para el cálculo del empuje del viento, la IAP-2011 distingue entre tableros de alma llena y tableros en celosía (4.2.5.1.1.). En nuestro caso, podemos asumir un tablero combinación de ambos, ya que aunque en el alzado se muestra un tablero tipo celosía, la parte que se encuentra por encima del tablero se encuentra cerrada y por tanto actúa como tablero de alma llena.

Además, se ha tenido en cuenta el viento vertical, concomitante con el viento transversal a la pasarela que actúa principalmente sobre el tablero y sobre la celosía inferior.

Para obtener el momento de vuelco que genera el viento actuando sobre la pasarela se ha seguido el apartado 4.2.5.1.3 de la IAP-11. En la parte que queda por encima del tablero se ha considerado un punto de aplicación de la carga situado al 60% desde la base hasta el cordón superior, en el caso de que el viento actúe solo, o hasta una altura de 1.25 m en caso de que

actúe la sobrecarga. Para el caso del empuje vertical, el centro de gravedad se ha localizado a un cuarto del borde de barlovento.

A continuación se describe cómo se aplica la acción del viento a las distintas partes que conforman la pasarela.

- **VHPS:** Viento transversal actuando por encima de la línea de tablero. Este viento se reparte entre el cordón superior y el tablero, según los criterios de 4.2.5.1.3 explicados en el párrafo anterior
- **VHCI:** Viento transversal actuando en el cordón inferior de la pasarela
- **VVT:** Viento vertical actuando sobre el tablero. Su empuje se distribuye en las vigas laterales del tablero según los criterios de 4.2.5.1.3 de la IAP-11 explicados en el párrafo anterior.
- **VVTI:** Viento vertical actuando en la triangulación inferior y en el cordón inferior.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de las fuerzas que genera el viento en cada uno de los elementos considerados. Se muestra la altura respecto al fondo de la entrada del río (Z), el coeficiente de ocultación (η), el coeficiente de fuerza (cf), el coeficiente de exposición (ce) y el factor de turbulencia (kl).

VHTI					
Barlovento			Sotavento		
Fw	32.35	kN	Fw	22.64	kN
ρ	1.25	kg/m ³	ρ	1.25	kg/m ³
vb ² (t)	786.18	m ² /s ²	vb ² (t)	786.18	m ² /s ²
ce	3.25	-	ce	3.25	-
cf	1.8	-	cf	1.8	-
Aref	11.25	m ²	Aref	11.25	m ²
kl	1	-	kl	1	-
η	1	-	η	0.7	-
Z	7.3	m	Z	7.3	m
VHPS					
Barlovento			Sotavento		
Fw	168.43	kN	Fw	58.29	kN
ρ	1.25	kg/m ³	ρ	1.25	kg/m ³
vb ² (t)	786.18	m ² /s ²	vb ² (t)	786.18	m ² /s ²
ce	3.42	-	ce	3.42	-
cf	1.78	-	cf	2.2	-
Aref	56.25	m ²	Aref	56.25	m ²
kl	1	-	kl	1	-
η	1	-	η	0.28	-
Z	9.5	m	Z	9.5	m
B	3				

VVT					
Barlovento			Sotavento		
Fw	0	kN	Fw	52.75	kN
ρ	1.25	kg/m ³	ρ	1.25	kg/m ³
vb ² (t)	786.18	m ² /s ²	vb ² (t)	786.18	m ² /s ²
ce	3.31	-	ce	3.31	-
cf	0	-	cf	0.9	-
Aref	144	m ²	Aref	144	m ²
kl	1	-	kl	1	-
η	1	-	η	0.25	-
Z	8.033	m	Z	8.033	m
VVTI					
Barlovento			Sotavento		
Fw	0.17	kN	Fw	0	kN
ρ	1.25	kg/m ³	ρ	1.25	kg/m ³
vb ² (t)	786.18	m ² /s ²	vb ² (t)	786.18	m ² /s ²
ce	3.24	-	ce	3.24	-
cf	0.9	-	cf	0.9	-
Aref	0.12	m ²	Aref	0.12	m ²
kl	1	-	kl	1	-
η	1	-	η	0	-
Z	7.2	m	Z	7.2	m

Tabla 3: Empuje del viento en los elementos de la pasarela

1.5.4.2.2 Efectos aerolásticos

No se tienen en cuenta los efectos aerolásticos en este diseño ya que según el apartado 4.2.9.1 de la IAP-11 se cumplen los requisitos para ello, que son:

- Luz inferior a 80 metros (en nuestro caso 43.5 m)
- Frecuencia de flexión vertical mayor de 2 Hz. (en nuestro caso 2.2 Hz)

1.5.4.2.3 Acción térmica

Según el apartado 4.3.1 de la IAP-11 se trata de un tablero tipo 3 (Hormigón armado o pretensado). El rango máximo de temperaturas en Alicante se encuentra en 44-46 °C para un período de retorno de 50 años. Además, Alicante se encuentra en zona de clima invernal 5 a una altitud de 0 m, lo que da una temperatura mínima anual de -5 para un período de retorno de 50 años.

Si corregimos estos valores a un período de retorno máximo de 100 años, $T_{\max,100}=47.8$ °C y $T_{\min,100}=-5.6$ °C

La temperatura de cálculo se calcula asumiendo una temperatura media en fabricación de 15°C y unos incrementos de temperatura según la Tabla 4.3-b de la IAP-11 para tableros tipo 3 de $T_{e,\min}=+8$ y $T_{e,\max}=+1.5$. Para el dimensionamiento de los neoprenos se incrementa en +- 15°C la componente de temperatura uniforme. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

	Valores diseño pasarela	Valores diseño neoprenos
ΔT_{\max}	34.28	49.28
ΔT_{\min}	-12.6	-27.6

Tabla 6: Valores característicos de temperatura

1.5.4.2.4 Nieve

La sobrecarga de nieve a considerar en Alicante, en una zona de clima invernal tipo 5 y a una altitud de 0 m sobre el nivel del mar es de 0.16 kN/m^2 . La nieve no es concomitante con la sobrecarga en ninguna situación dando combinaciones mucho menos desfavorables que la propia sobrecarga. Por tanto, esta sobrecarga no se ha tenido en cuenta en los cálculos a efectos prácticos.

1.5.4.3 Acción sísmica

La acción sísmica se considera en el proyecto siguiendo las prescripciones establecidas por la normativa NSCP-07. Para tenerla en cuenta se obtiene el espectro de respuesta elástica según las indicaciones de esta norma.

En primer lugar, el terreno en el que se ubica la pasarela se considera terreno tipo III, por lo que la constante $C=1.6$.

Según la normativa, el sismo se debe tener en cuenta en estado límite último para un período de retorno de 500 años, asegurando que la estructura no colapsa. Además, se debe tener en cuenta para un período de retorno de 100 años (combinación frecuente) y garantizar que no se produce ningún tipo de daño en la pasarela. Para un período de retorno de 500 años el coeficiente adimensional de riesgo " ρ " es 1, mientras que para uno de 100 años el coeficiente $\rho=0.5253$. Además, el coeficiente de amortiguamiento considerado varía según la combinación última o frecuente. Para la combinación última se utiliza un coeficiente de amortiguamiento del 5% mientras que para la frecuente, uno del 3%.

En la zona de Alicante, $a_b/g=0.14$, con un coeficiente de contribución $k=1.0$, según el Anejo 1 figura 3.1 de la NSCP-07.

Por otro lado, el coeficiente amplificador del terreno S , toma un valor u otro según el producto " $\rho \cdot a_b$ ". Para el caso del sismo último $S=1.24$ mientras que para el sismo frecuente $S=1.28$.

La aceleración de cálculo es para el sismo último de 1.71 m/s^2 mientras que para el sismo frecuente de $0,92 \text{ m/s}^2$

$$a_c = a_b \cdot S \cdot \rho$$

$$0 \leq T \leq T_A: \quad S_a(T) = \left[1 + \frac{T}{T_A} (2,5 v - 1) \right] a_c$$

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_a(T) = 2,5 v a_c$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_a(T) = 2,5 v \frac{T_B}{T} a_c$$

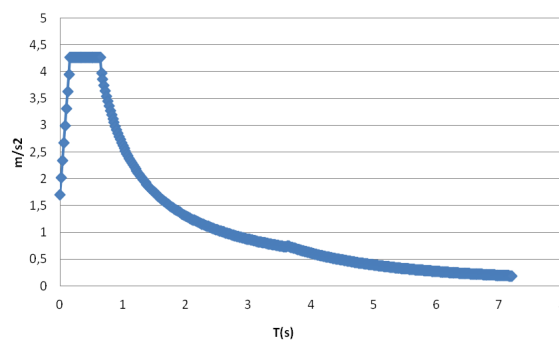
$$T_C \leq T: \quad S_a(T) = 2,5 v \frac{T_B T_C}{T^2} a_c$$

Sismo último de cálculo	Sismo frecuente de cálculo Sismo de construcción
$T_A = K C / 10$	$T_A = K C / 20$
$T_B = K C / 2,5$	$T_B = K C / 5$
$T_C = K (2 + C)$	$T_C = K (1 + 0,5 C)$

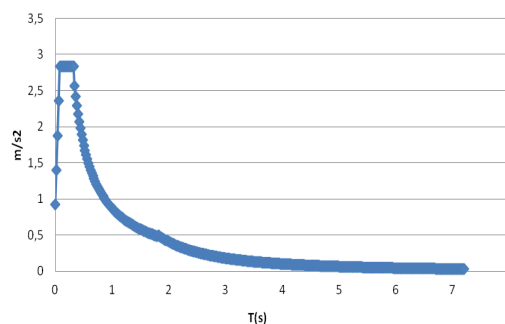
Espectro elástico de respuesta para el sismo último y el frecuente

A continuación se muestran los espectros elásticos para el sismo último y para el sismo frecuente.

Sismo último:



Sismo frecuente:



El sismo frecuente no es necesario calcularlo si para el sismo último se garantiza ya un comportamiento esencialmente elástico de la estructura

El espectro de respuesta en la dirección vertical se considera el 70% del horizontal. El índice de comportamiento (q) en cada una de las direcciones que amplifica el espectro se toma como 1.

Es necesario comprobar que para los modos de vibración con una frecuencia inferior a 30,3 Hz se movilizan al menos el 90% de la masa. Si se moviliza entre un 70% y un 90% es aceptable el

cálculo pero es necesario realizar una amplificación de los efectos finales del sismo por un coeficiente α que se obtiene siguiendo la formulación siguiente:

$$\alpha = \frac{41 - 30\%m}{14}, \text{ siendo \%m el porcentaje de masa movilizado}$$

Debido a que el sismo actúa en los tres ejes, es necesario definir una combinación de ellos para obtener los esfuerzos finales. La norma NSCP-07 propone el siguiente esquema de combinación:

$$\text{SISMO1} = X + 0.3Y + 0.3Z$$

$$\text{SISMO2} = 0.3X + Y + 0.3Z$$

$$\text{SISMO3} = 0.3X + 0.3Y + Z$$

Se ha elegido el método CQC para la combinación de las respuestas modales.

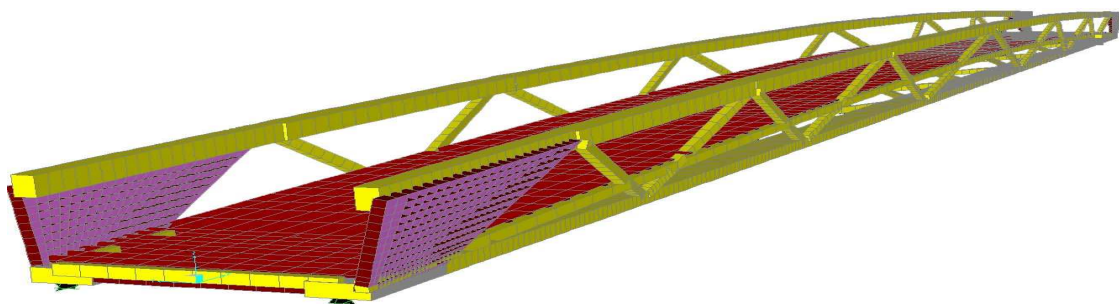
1.6 Análisis estructural

1.6.1 Idealización de la estructura

La estructura se ha idealizado mediante un modelo de elementos finitos en el programa SAP2000 que incluye tanto elementos tipo barra como elementos superficiales tipo placa.

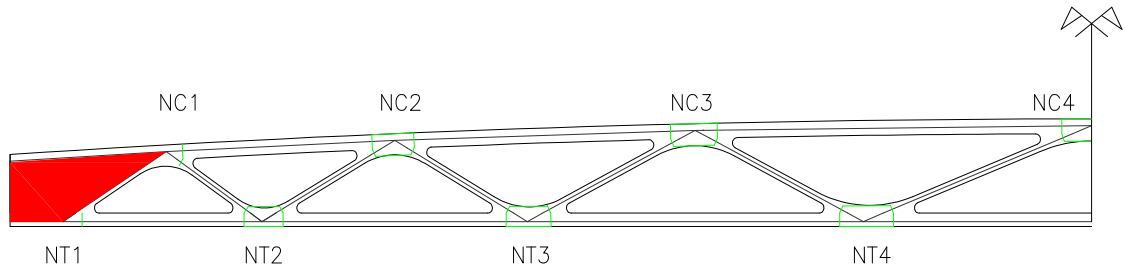
El modelo introducido en SAP2000 se puede ver en la siguiente figura. La estructura se considera biapoyada y se han introducido las coacciones que introducen los neoprenos de apoyo como elementos lineales tipo muelle con el objetivo de tener el comportamiento más realista posible de la estructura.

La zona de apoyos y la parte superior del tablero se han modelado como elementos tipo placa (SHELL) con su espesor correspondiente. El resto de los elementos se ha modelado con elementos finitos tipo barra (FRAME). El esquema del modelo realizado se puede observar en la siguiente figura. Las barras se han subdividido en un número suficiente de segmentos para poder captar los efectos $P-\Delta$ de la estructura de barras.

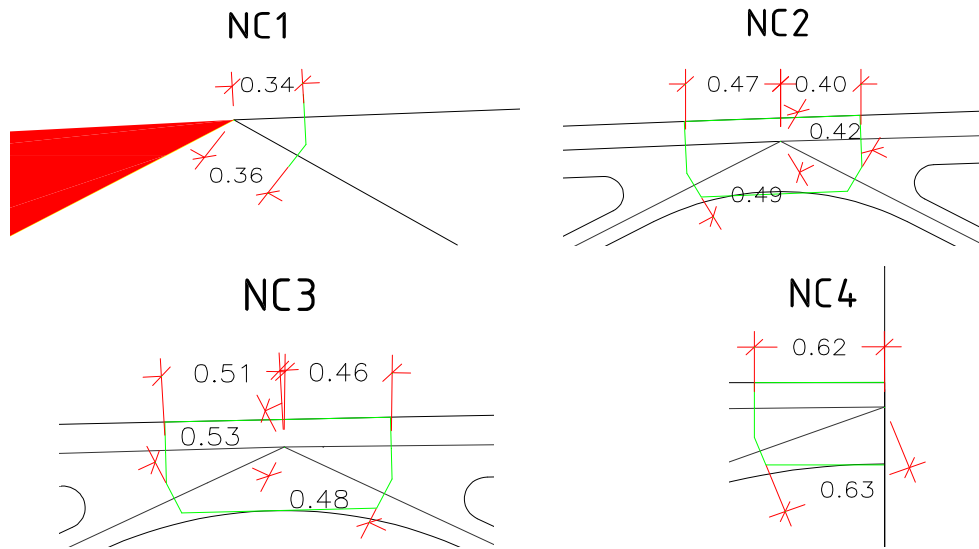


Modelo de elementos finitos de la pasarela

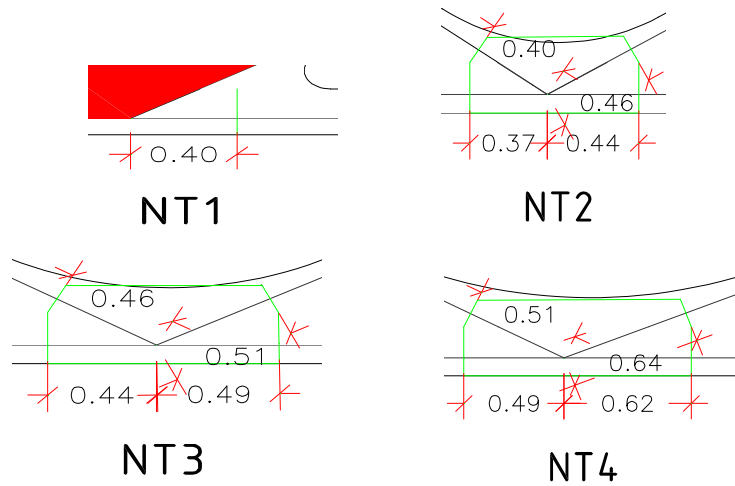
Además, dada la geometría singular de las celosías, los nudos de la estructura se han considerado en el modelo como nudos rígidos de dimensión finita según se puede observar en las figuras siguientes:



Nudos de dimensión finita (I)



Nudos de dimensión finita (II)



Nudos de dimensión finita (III)

1.6.2 Casos de carga

Se han considerado los siguientes casos de carga en función de las acciones definidas en el apartado 1.5.

DEAD: peso propio de todos los elementos que conforman la pasarela. Esta acción la genera automáticamente el programa SAP 2000 proporcionando las características mecánicas de todos los elementos

CM: acción de la carga muerta sobre uno de los dos cordones inferiores

PRET: acción equivalente de pretensado a tiempo inicial

PRET*: acción equivalente de pretensado a tiempo final

SC: sobrecarga de uso actuando en la totalidad del tablero

SC2: sobrecarga de uso en la mitad del tablero en el mismo lado de la aplicación de la CM

SC3: sobrecarga de uso en la mitad del tablero contraria al lado de aplicación de la CM

Se han agrupado todas las acciones de viento definidas en el apartado 1.5.4.2.1. Todas aquellas que tienen componente horizontal se agrupan bajo el caso de carga **VH**, mientras que las acciones que dan componente vertical se denominan **VV**. En este último caso pueden actuar en dos sentidos, en la dirección de la gravedad, caso de carga **VV+**, y en la dirección opuesta, caso de carga **VV-**.

T+ : caso que contempla la situación con la temperatura máxima

T- : caso que contempla la situación con la temperatura mínima

SISMO1: sismo actuando según el eje longitudinal de la pasarela (X)

SISMO2: sismo actuando en la dirección transversal al eje longitudinal de la pasarela (Y)

SISMO3: sismo actuando en la dirección vertical a la pasarela (Z)

1.6.3 Hipótesis de combinación de acciones

Las tablas que aparecen a continuación responden a las diferentes combinaciones de acciones que contempla la Instrucción IAP-2011 de acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.

1.6.3.1 Estados Límite Último

Para la situación persistente o transitoria las hipótesis de combinación de acciones se llevan a cabo según la siguiente expresión:

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

- G_{kj} valor característico de cada acción permanente
- $G^*_{k,m}$ valor característico de cada acción permanente de valor no constante
- $Q_{k,1}$ valor característico de la acción variable dominante
- $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ valor de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante
- $\gamma_G \gamma_Q$ coeficientes parciales

Las hipótesis de combinación de acciones que se han contemplado en el cálculo de esta estructura han sido las siguientes:

DEAD	CM	PRET	PRET*	SC	SC1	SC2	VH	VV+	VV-	T+	T-
1.35	1.35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.35	1.35	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1.35	1.35	1	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0
1.35	1.35	1	0	1.35	0	0	0.45	0.45	0	0	0
1.35	1.35	1	0	1.35	0	0	0.45	0	0.45	0	0
1.35	1.35	1	0	1.35	0	0	0	0	0	0.9	0
1.35	1.35	1	0	1.35	0	0	0	0	0	0	0.9
1.35	1.35	0	1	1.35	0	0	0	0	0	0	0
1.35	1.35	0	1	1.35	0	0	0.45	0.45	0	0	0
1.35	1.35	0	1	1.35	0	0	0.45	0	0.45	0	0
1.35	1.35	0	1	1.35	0	0	0	0	0	0.9	0
1.35	1.35	0	1	1.35	0	0	0	0	0	0	0.9
1.35	1.35	1	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0
1.35	1.35	1	0	0	1.35	0	0.45	0.45	0	0	0
1.35	1.35	1	0	0	1.35	0	0.45	0	0.45	0	0
1.35	1.35	1	0	0	1.35	0	0	0	0	0.9	0
1.35	1.35	1	0	0	1.35	0	0	0	0	0	0.9
1.35	1.35	0	1	0	1.35	0	0	0	0	0	0
1.35	1.35	0	1	0	1.35	0	0.45	0.45	0	0	0

1.35	1.35	0	1	0	1.35	0	0.45	0	0.45	0	0
1.35	1.35	0	1	0	1.35	0	0	0	0	0.9	0
1.35	1.35	0	1	0	1.35	0	0	0	0	0	0.9
1.35	1.35	1	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0
1.35	1.35	1	0	0	0	1.35	0.45	0.45	0	0	0
1.35	1.35	1	0	0	0	1.35	0.45	0	0.45	0	0
1.35	1.35	1	0	0	0	1.35	0	0	0	0.9	0
1.35	1.35	1	0	0	0	1.35	0	0	0	0	0.9
1.35	1.35	0	1	0	0	1.35	0	0	0	0	0
1.35	1.35	0	1	0	0	1.35	0.45	0.45	0	0	0
1.35	1.35	0	1	0	0	1.35	0.45	0	0.45	0	0
1.35	1.35	0	1	0	0	1.35	0	0	0	0.9	0
1.35	1.35	0	1	0	0	1.35	0	0	0	0	0.9
1.35	1.35	1	0	0	0	0	1.5	1.5	0	0	0
1.35	1.35	1	0	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0
1.35	1.35	1	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5
1.35	1.35	0	1	0	0	0	1.5	1.5	0	0	0
1.35	1.35	0	1	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0
1.35	1.35	0	1	0	0	0	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1.5
1.35	1.35	1	0	0.54	0	0	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	1	0	0.54	0	0	0	0	0	0	1.5
1.35	1.35	1	0	0	0.54	0	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	1	0	0	0.54	0	0	0	0	0	1.5
1.35	1.35	1	0	0	0	0.54	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	1	0	0	0	0.54	0	0	0	0	1.5

1.35	1.35	0	1	0.54	0	0	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	0	1	0.54	0	0	0	0	0	0	1.5
1.35	1.35	0	1	0	0.54	0	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	0	1	0	0.54	0	0	0	0	0	1.5
1.35	1.35	0	1	0	0	0.54	0	0	0	1.5	0
1.35	1.35	0	1	0	0	0.54	0	0	0	0	1.5
ESTADO LÍMITE ÚLTIMO DE EQUILIBRIO											
0.9	1.1	0	0.9	0	1.35	0	0.45	0	0.45	0	0
0.9	1.1	0	0.9	0	0	0	1.5	0	1.5	0	0

En el caso de la situación sísmica, la combinación de acciones que propone la IAP-2011 se muestra a continuación:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} G_{k,m}^* + \psi_{2,1} Q_{k,1} + A_{Ed}$$

donde:

- $G_{k,j}$ valor representativo de cada acción permanente
- $G_{k,m}^*$ valor representativo de cada acción permanente de valor no constante
- $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ valor casi-permanente de la sobrecarga de uso (según *tabla 6.1-a*)
- A_{Ed} valor de cálculo de la acción sísmica

Para la situación sísmica las hipótesis consideradas en esta estructura han sido:

DEAD	CM	PRET	PRET*	SISMO1	SISMO2	SISMO3	T+	T-
1	1	1	0	±1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	±1	0	0	0
1	1	1	0	0	0	±1	0	0
1	1	0	1	±1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	±1	0	0	0
1	1	0	1	0	0	±1	0	0
1	1	1	0	±1	0	0	0.75	0
1	1	1	0	0	±1	0	0.75	0

1	1	1	0	0	0	±1	0.75	0
1	1	1	0	±1	0	0	0	0.75
1	1	1	0	0	±1	0	0	0.75
1	1	1	0	0	0	±1	0	0.75
1	1	0	1	±1	0	0	0.75	0
1	1	0	1	0	±1	0	0.75	0
1	1	0	1	0	0	±1	0.75	0
1	1	0	1	±1	0	0	0	0.75
1	1	0	1	0	±1	0	0	0.75
1	1	0	1	0	0	±1	0	0.75

1.6.3.2 Estados Límite Servicio

1.6.3.3 Combinación característica

Para la combinación característica, la IAP-2011 propone la siguiente hipótesis de combinación de acciones:

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

Las hipótesis de combinación de acciones características consideradas en esta estructura han sido las siguientes:

DEAD	CM	PRET	PRET*	SC	SC1	SC2	VH	VV+	VV-	T+	T-
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	1	0	0	0.3	0.3	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	1	0	0	0.3	0	0.3	0	0
1	1	1.05/0.95	0	1	0	0	0	0	0	0.6	0
1	1	1.05/0.95	0	1	0	0	0	0	0	0	0.6
1	1	0	1.05/0.95	1	0	0	0	0	0	0	0

1	1	0	1.05/0.95	1	0	0	0.3	0.3	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	1	0	0	0.3	0	0.3	0	0
1	1	0	1.05/0.95	1	0	0	0	0	0	0.6	0
1	1	0	1.05/0.95	1	0	0	0	0	0	0	0.6
1	1	1.05/0.95	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	1	0	0.3	0.3	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	1	0	0.3	0	0.3	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	1	0	0	0	0	0.6	0
1	1	1.05/0.95	0	0	1	0	0	0	0	0	0.6
1	1	0	1.05/0.95	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	1	0	0.3	0.3	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	1	0	0.3	0	0.3	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	1	0	0	0	0	0.6	0
1	1	0	1.05/0.95	0	1	0	0	0	0	0	0.6
1	1	1.05/0.95	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	1	0.3	0.3	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	1	0.3	0	0.3	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	1	0	0	0	0.6	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	1	0	0	0	0	0.6
1	1	0	1.05/0.95	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	1	0.3	0.3	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	1	0.3	0	0.3	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	1	0	0	0	0.6	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	1	0	0	0	0	0.6
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	1	1	0	0	0

1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	1	0	1	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0.	0	0	0	0	1	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	1	1	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	1	0	1	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0.	0	0	0	0	1	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	0	1
1	1	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	1	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	0	1
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0.4	0	0	0	1	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0.4	0	0	0	0	1
1	1	0	1.05/0.95	0.4	0	0	0	0	0	1	0
1	1	0	1.05/0.95	0.4	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	1	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	1
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	1	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	1

1.6.3.4 Combinación frecuente

Para la combinación frecuente, la IAP-2011 propone la siguiente combinación de acciones:

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

Las hipótesis de combinación de acciones frecuente consideradas en esta estructura han sido las siguientes:

DEAD	CM	PRET	PRET*	SC	SC1	SC2	VH	VV+	VV-	T+	T-
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	0.5	0
1	1	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0.5
1	1	0	1.05/0.95	0.4	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0.4	0	0	0	0	0	0.5	0
1	1	0	1.05/0.95	0.4	0	0	0	0	0	0	0.5
1	1	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	0.5	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0.5
1	1	0	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0.5	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0.4	0	0	0	0	0	0.5
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0.4	0	0	0	0.5	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0.5
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0.5	0

1	1	0	1.05/0.95	0	0	0.4	0	0	0	0	0.5
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0.	0	0	0	0	0.2	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0.2	0	0.2	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0.	0	0	0	0	0.2	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0.6

1.6.3.5 Combinación casi-permanente

Para la combinación casi-permanente, la IAP-2011 propone la siguiente combinación de acciones:

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

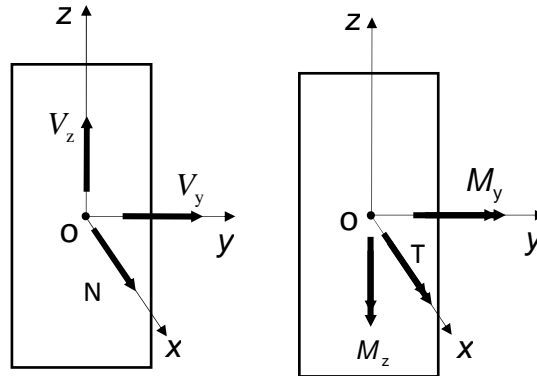
Las hipótesis de combinación de acciones casi-permanente consideradas en esta estructura han sido las siguientes:

DEAD	CM	PRET	PRET*	SC	SC1	SC2	VH	VV+	VV-	T+	T-
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0.	0	0	0	0	0.2	0
1	1	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
1	1	0	1.05/0.95	0	0.	0	0	0	0	0.2	0
1	1	0	1.05/0.95	0	0	0	0	0	0	0	0.6

1.6.4 Esfuerzos de cálculo

1.6.4.1 Criterio de signos

El criterio de signos que se ha empleado se muestra en la figura siguiente:



1.6.4.2 Esfuerzos en servicio

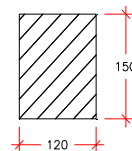
Se han obtenido todos los esfuerzos en ELS para todas las hipótesis de combinación de acciones. Los esfuerzos se han calculado para todos los elementos que componen la pasarela y en cada uno de ellos se han obtenido no solo esfuerzos en los extremos sino también a lo largo de todo el elemento. Por lo general, se generan en todos los elementos combinaciones de axil y de flexión biaxial, dada la singularidad de la estructura. Dado que el número de esfuerzos en ELS extendido a toda la estructura es muy elevado para su presentación en un documento escrito se ha optado por incluir sólo aquellos esfuerzos que han resultado ser los pésimos para los distintos elementos resistentes que componen la estructura. Se presentan exclusivamente esfuerzos derivados de combinación característica o “poco probable”.

DIAGONALES COMPRIMIDAS (DC1, DC2 y DC3)

Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=150\text{mm}$

Armadura pasiva: 4 redondos de 20mm

Recubrimiento nominal: 20 mm



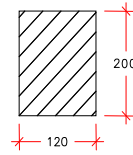
Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELS-DC-1	-413.653	0.477	-9.6108
ELS-DC-2	-52.933	-3.1796	-1.5668
ELS-DC-3	-160.876	7.9287	7.1412
ELS-DC-4	-112.149	-7.1122	2.0601
ELS-DC-5	-335.522	6.6513	9.1423
ELS-DC-6	-335.689	-5.124	-12.8341

DIAGONAL TRACCIONADA DT1

Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=200\text{mm}$

Armadura pasiva: 4 redondos de 20mm

Recubrimiento nominal: 20 mm



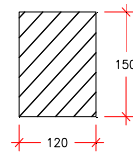
Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELS-DT1-1	29.524	1.4759	-8.7756
ELS-DT1-2	371.414	0.1945	-3.4856
ELS-DT1-3	126.519	10.8778	-0.0707
ELS-DT1-4	134.852	-9.058	1.599
ELS-DT1-5	321.209	-4.6766	8.8102
ELS-DT1-6	29.524	1.4759	-8.7756

. DIAGONALES TRACCIONADAS (DT2 y DT3)

Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=150\text{mm}$

Armadura pasiva: 4 redondos de 20mm

Recubrimiento nominal: 20 mm



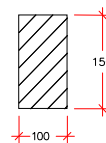
Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELS-DT23-1	22.104	10.3853	-1.0778
ELS-DT23-2	179.469	7.9125	1.3629
ELS-DT23-3	61.833	11.3189	-2.4771
ELS-DT23-4	72.199	-10.5212	3.9079
ELS-DT23-5	126.322	3.3289	4.4109
ELS-DT23-6	126.646	-2.8477	-5.4068

RIGIDIZACIÓN TRANSVERSAL DEL TABLERO (RIGTAB)

Sección transversal: $b=100\text{mm}$; $h=150\text{mm}$

Armadura pasiva: 4 redondos de 10mm

Recubrimiento nominal: 20 mm

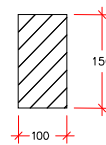


Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
-------------	--------	-------------	-------------

ELS-RIGTAB-1	-23.037	0.0661	1.0488
ELS-RIGTAB-2	105.202	-0.095	-2.4295
ELS-RIGTAB-3	34.8	0.5518	0.4169
ELS-RIGTAB-4	28.665	-0.6939	0.9373
ELS-RIGTAB-5	29.4	-0.0664	1.6461
ELS-RIGTAB-6	80.709	-0.0231	-2.8408

TRIANGULACIÓN INFERIOR (DI)

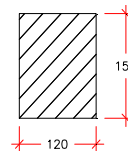
- Sección transversal: $b=100\text{mm}$; $h=150\text{mm}$
- Armadura pasiva: 4 redondos de 10mm
- Recubrimiento nominal: 20 mm



Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELS-DI-1	-111.492	0.6675	3.551
ELS-DI-2	66.365	-0.0933	-1.356
ELS-DI-3	5.571	1.3568	1.3384
ELS-DI-4	5.571	-1.4441	-2.3814
ELS-DI-5	11.805	0.3029	3.9587
ELS-DI-6	15.781	-0.6532	-3.3314

NERVIO LONGITUDINAL DEL TABLERO (VTAB)

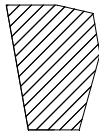
- Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=150\text{mm}$
- Armadura pasiva: 4 redondos de 10mm
- Recubrimiento nominal: 20 mm



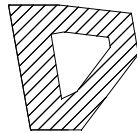
Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELS-VTAB-1	-668.193	5.7371	3.97
ELS-VTAB-2	-157.105	1.3744	-4.399
ELS-VTAB-3	-307.704	6.3227	2.8026
ELS-VTAB-4	-309.015	-6.3448	2.8062

ELS-VTAB-5	-394.927	0.1244	8.9435
ELS-VTAB-6	-283.268	-1.2474	-5.9573
ELS-VTAB-7	-424.052	2.675	8.6089

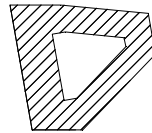
CORDÓN SUPERIOR (CC1, CC2, CC3 y CC4)



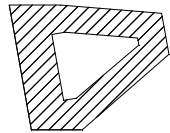
Sección 1



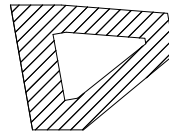
Sección 2



Sección 3



Sección 4



Sección 5

Tramo CC1

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELS-CC1-1	-390.891	0.2456	9.6599
ELS-CC1-2	137.047	-1.5844	5.6866
ELS-CC1-3	-176.23	6.5352	13.8754
ELS-CC1-4	-173.692	-14.2546	31.0963
ELS-CC1-5	-233.835	-7.8132	34.0016
ELS-CC1-6	-267.072	1.8353	-5.8622
ELS-CC1-7	-147.623	-12.1384	33.7603

Tramo CC2

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELS-CC2-1	-833.187	40.065	-9.8763
ELS-CC2-2	-95.555	-7.6441	9.7179

ELS-CC2-3	-803.574	40.8186	-11.8117
ELS-CC2-4	-803.347	-24.9776	1.7531
ELS-CC2-5	-169.898	5.7832	10.0853
ELS-CC2-6	-798.38	37.8743	-11.9091

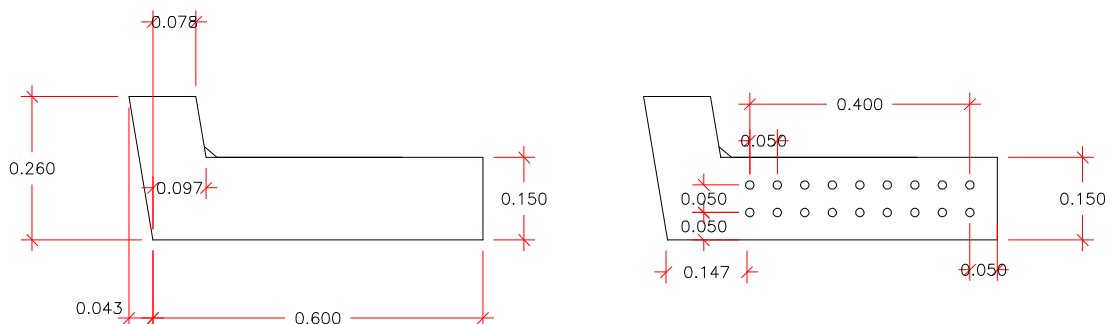
Tramo CC3

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELS-CC3-1	-1352.928	23.7768	-1.2141
ELS-CC3-2	-247.61	-5.1918	8.8599
ELS-CC3-3	-1325.329	26.4958	-2.8073
ELS-CC3-4	-673.281	-16.008	2.392
ELS-CC3-5	-296.329	1.6276	11.4418
ELS-CC3-6	-1325.225	-1.5243	-9.4021

Tramo CC4

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELS-CC4-1	-1651.467	14.7266	-4.3182
ELS-CC4-2	-334.793	-5.1612	12.4277
ELS-CC4-3	-1058.986	-10.1027	-5.6437
ELS-CC4-4	-1626.067	20.734	-5.0742
ELS-CC4-5	-363.391	-3.6252	16.4311
ELS-CC4-6	-1626.02	-5.8368	-14.8374

CORDÓN INFERIOR (CI)



Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELS-T-Ini-01	738.382	5.4364	275.7235
ELS-T-Ini-02	2928.60126	29.7651	262.8895
ELS-T-Ini-03	1299.426	-80.5414	287.9755
ELS-T-Ini-04	1840.467	99.663	284.5294
ELS-T-Ini-05	1773.585	1.8313	295.8664
ELS-T-Ini-06	2398.997	23.1926	246.7935
ELS-T-Fin-01	-1476.276	7.7169	8.7413
ELS-T- Fin -02	510.88	6.2146	-18.2623
ELS-T- Fin -03	-915.246	-79.696	22.7832
ELS-T- Fin -04	-782.574	92.8372	18.5031
ELS-T- Fin -05	293.231	12.0931	-19.2047
ELS-T- Fin -06	-784.888	2.6606	30.1546

1.6.4.3 Esfuerzos en rotura

Se han obtenido todos los esfuerzos en ELU para todas las hipótesis de combinación de acciones. Se ha procedido de manera similar a la llevada a cabo para ELS y se ha optado por presentar sólo aquellos esfuerzos que han resultado ser los pésimos para los distintos elementos resistentes que componen la estructura.

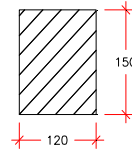
En el caso del análisis de segundo orden se ha observado que el único elemento en el que no son despreciables los efectos de inestabilidad es el cordón superior. Por este motivo, se incluyen en el listado de esfuerzos pésimos de los diferentes tramos del cordón comprimido los resultados derivados de los dos tipos de análisis.

El análisis de segundo orden se ha llevado a cabo mediante un método de amplificación de esfuerzos en el que se han reducido convenientemente las rigideces axil y de flexión en los dos planos de los elementos del cordón superior y de las diagonales según la sollicitación a la cual se encuentran sometido cada elemento. Con las características mecánicas corregidas se ha llevado a cabo un nuevo análisis de esfuerzos que ha arrojado unas amplificaciones de los valores de los momentos flectores y se ha comprobado que estas sollicitaciones son inferiores a los esfuerzos de agotamiento de cada una de las secciones.

A continuación se enumeran los esfuerzos por tipo de elemento:

DIAGONALES COMPRIMIDAS (DC1, DC2 y DC3)

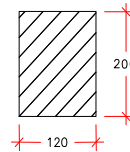
Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=150\text{mm}$
 Armadura pasiva: 4 redondos de 20mm
 Recubrimiento nominal: 20 mm



Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELU-DC1-1	-558.85	-20.36	-1.48
ELU-DC2-1	-68.14	-7.98	-11.23
ELU-DC3-1	42.36	-0.20	-14.66
ELU-DC3-2	-7.50	-5.68	-14.98

DIAGONAL TRACCIONADA DT1

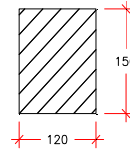
Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=200\text{mm}$
 Armadura pasiva: 4 redondos de 20mm
 Recubrimiento nominal: 20 mm



Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELU-DT1-1	498.41	-3.07	-10.16
ELU-DT1-2	491.58	-15.35	-1.66
ELU-DT1-3	398.87	-11.61	-11.65

DIAGONALES TRACCIONADAS (DT2 y DT3)

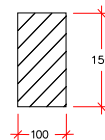
Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=150\text{mm}$
 Armadura pasiva: 4 redondos de 20mm
 Recubrimiento nominal: 20 mm



Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELU-DT2-1	253.82	-3.59	-9.55
ELU-DT2-2	159.96	-1.40	-12.77
ELU-DT3-1	233.17	-2.21	-14.37
ELU-DT3-2	89.21	-5.05	-17.07

RIGIDIZACIÓN TRANSVERSAL DEL TABLERO (RIGTAB)

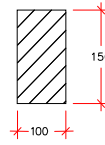
Sección transversal: $b=100\text{mm}$; $h=150\text{mm}$
 Armadura pasiva: 4 redondos de 10mm
 Recubrimiento nominal: 20 mm



Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELU-RIGTAB-1	140.46	-5.02	-0.06
ELU-RIGTAB-2	169.09	-4.40	-0.03

TRIANGULACIÓN INFERIOR (DI)

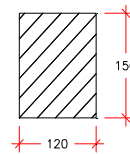
- Sección transversal: $b=100\text{mm}$; $h=150\text{mm}$
- Armadura pasiva: 4 redondos de 10mm
- Recubrimiento nominal: 20 mm



Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELU-DI-1	19.49	-8.03	-0.61
ELU-DI-2	163.48	-5.15	-1.37

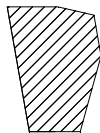
NERVIO LONGITUDINAL DEL TABLERO (VTAB)

- Sección transversal: $b=120\text{mm}$; $h=150\text{mm}$
- Armadura pasiva: 4 redondos de 10mm
- Recubrimiento nominal: 20 mm

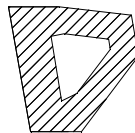


Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELU-VTAB-1	-148.51	-13.02	-0.60
ELU-VTAB-2	-534.99	-16.90	-0.27

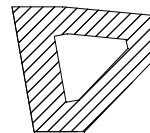
CORDÓN SUPERIOR (CC1, CC2, CC3 y CC4)



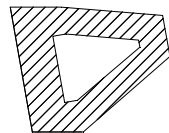
Sección 1



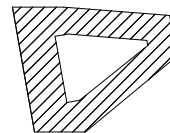
Sección 2



Sección 3



Sección 4



Sección 5

Tramo CC1

Esfuerzos de primer orden

Combinación	N (kN)	M_y (kNm)	M_z (kNm)
ELU-CC1-1	-539.266	13.696	1.1108
ELU-CC1-2	152.11	6.4897	-2.2157

ELU-CC1-3	-234.451	42.0586	-19.0511
ELU-CC1-4	-383.665	-10.945	+44.5624
ELU-CC1-5	-258.514	+43.3657	-18.1982

Esfuerzos de segundo orden

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-CC1-6	11.43	-0.6505	2.7096
ELU-CC1-7	-673.076	-9.0493	33.0474
ELU-CC1-8	-4.455	0.4387	0.1389
ELU-CC1-9	-470.774	-20.4412	41.3067
ELU-CC1-10	-402.24	-15.2358	46.7714
ELU-CC1-11	-616.197	-3.976	-6.6958

Tramo CC2

Esfuerzos de primer orden

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-CC2-1	-1132.958	-13.5138	+53.4491
ELU-CC2-2	-212.959	+10.8314	-12.2728
ELU-CC2-3	-1089.667	-16.0183	+56.805
ELU-CC2-4	-1132.606	+1.1399	-34.4817
ELU-CC2-5	-212.959	+10.8314	-12.2728
ELU-CC2-6	-1077.909	-16.0924	+51.2015

Esfuerzos de segundo orden

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-CC2-7	-1231.206	-22.0983	-3.8922
ELU-CC2-8	-1348.407	54.7436	-19.3982
ELU-CC2-9	-1231.472	56.1595	-23.3682
ELU-CC2-10	-1348.044	-44.2342	6.4285
ELU-CC2-11	-1231.449	50.9468	-23.4976
ELU-CC2-12	-1231.23	-39.9999	9.2212

Tramo CC3

Esfuerzos de primer orden

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-CC3-1	-1837.141	-1.3849	+32.0512
ELU-CC3-2	-446.471	+9.6915	-7.9702
ELU-CC3-3	-1794.897	-3.7737	+36.1244
ELU-CC3-4	-939.614	+2.9703	-22.9978
ELU-CC3-5	-525.565	+12.1154	+2.2687
ELU-CC3-6	-1794.758	-12.6123	-2.2564

Esfuerzos de segundo orden

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-CC3-7	-2015.749	-11.0528	11.9251
ELU-CC3-8	-2142.476	35.4802	-1.097
ELU-CC3-9	-2015.885	36.096	-4.6753
ELU-CC3-10	-2142.23	-42.1521	10.3336
ELU-CC3-11	-2015.821	18.2847	-11.1217
ELU-CC3-12	-2015.75	-11.2838	13.0734

Tramo CC4

Esfuerzos de primer orden

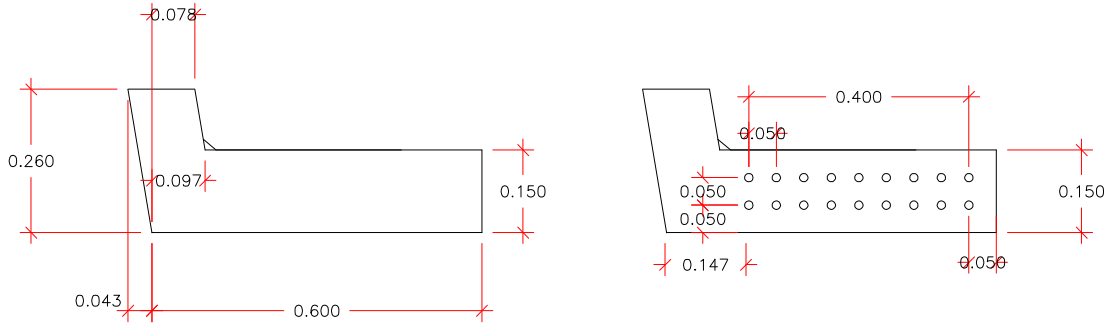
Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-CC4-1	-2242.594	-5.7067	+19.4879
ELU-CC4-2	-553.663	+11.7706	-2.7465
ELU-CC4-3	-2203.496	-6.8303	+28.5006
ELU-CC4-4	-1574.451	-11.7421	-13.6562
ELU-CC4-5	-632.794	+18.1405	-5.0181
ELU-CC4-6	-2203.434	-19.9992	-8.3468

Esfuerzos de segundo orden

Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-CC4-7	-2142.225	-40.9705	9.2621
ELU-CC4-8	-2631.202	18.2563	-31.4653
ELU-CC4-9	-2142.476	35.4802	-1.097

ELU-CC4-10	-2142.23	-42.1521	10.3336
ELU-CC4-11	-2631.197	17.3169	-35.5016
ELU-CC4-12	-2631.065	-14.7399	24.8204

CORDÓN INFERIOR (CI)



Combinación	N (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
ELU-T-Ini-01	773.2	12.31	259.81
ELU-T-Ini-02	3440.9	6.3	235.9
ELU-T-Ini-03	3144.8	-0.9	215.14
ELU-T-Ini-04	2541.8	3.3	157.3
ELU-T-Ini-05	1499.8	31	143.05
ELU-T-Ini-06	1695.9	25.3	386.8
ELU-T-Fin-01	3362.84	4.41	175.74
ELU-T-Fin-02	541.27	7.6	194.44
ELU-T-Fin-03	1339.2	-29.8	297.24
ELU-T-Fin-04	1236.4	-23.6	57.34
ELU-T-Fin-05	3036.4	28.2	182.94

1.7 Cálculo de la pasarela

1.7.1 Pérdidas de pretensado

En función de los datos indicados previamente para el cálculo de las pérdidas de pretensado y de los esfuerzos obtenidos se ha llevado a cabo una estimación de las pérdidas de pretensado hasta la transferencia y de las pérdidas diferidas. Los resultados obtenidos se resumen en el siguiente extracto de la hoja Excel que ha servido de base para el cálculo de las pérdidas de pretensado.

PÉRDIDAS INICIALES		
P_{ki}	3007.4	kN
P_o	3515.4	kN
Pérdidas totales iniciales		
ΔP	508.0	kN
$\% \Delta P_k$	0.855	% s/ P_o
PÉRDIDAS HASTA LA TRANSFERENCIA		
Retracción		
ϵ_{cs}	0.0003	
E_s	190000	MPa
$E_c(7d)$	40000	MPa
A_s	0.0027	m ²
A_c	0.1057	m ²
ρ	0.026	
σ_s	50.832	MPa
σ_c	-1.298	MPa
ΔP_{retr}	137.2	kN
Relajación		
1.92%	7d	
2.5%	1000h	
ΔP_p	67.5	kN
PÉRDIDAS TRAS LA TRANSFERENCIA		
Acortamiento elástico hormigón		
$E_c(7d)$	40000	MPa
δ	0.0266	m
E_p	190000	MPa
L	45	m
ϵ	0.00059111	
ΔP_{aeh}	303.2	kN

PÉRDIDAS DIFERIDAS		
P_{kf}	2388.6	kN
ΔP_{dif}	618.8	kN

y_p	0.0172	m
E_p	190000	MPa
E_c	44000	MPa
n	4.318	
$\varphi(\infty,7)$	1.57	
$\varepsilon_{cs}(\infty,7)$	0.0006	
σ_{cp}	16.49	MPa
$\Delta\sigma_{pr}$	81.311	MPa
ρ_t	7.30%	10^6 h
P_{ki}	3007.4	kN
A_p	0.0027	m^2
A_c	0.1057	m^2
I_c	0.00038458	m^4
χ	0.8	

1.7.2 Estado límite último de equilibrio

Para la comprobación del ELU de equilibrio, las combinaciones de acciones más desfavorables en servicio se muestran en 1.6.3.1. No se ha considerado una situación de construcción, ya que durante toda esta etapa la pasarela se encuentra apeada en la casa de prefabricados. Se comprueba que las reacciones en los apoyos son de sentido vertical y ascendente, es decir, de compresión en el estribo. A continuación, se muestran las reacciones en los apoyos para las dos hipótesis de combinación de acciones contempladas en 1.6.3.1.

R_z (kN)	APOYO 1	APOYO 2	APOYO3	APOYO4
COMBINACIÓN 1	118.8	383.9	115.5	387.1
COMBINACIÓN 2	5.8	209.2	8.1	212.0

La combinación más desfavorable es la 2, aquella en la que actúa únicamente el viento en las direcciones vertical y transversal a la pasarela. En esta situación, la acción del viento provoca el mayor par de vuelco.

Debido a que las fuerzas estabilizadoras son mayores que las fuerzas desestabilizadoras, se cumple con el artículo 41º de la EHE-08 relativo al estado límite de equilibrio.

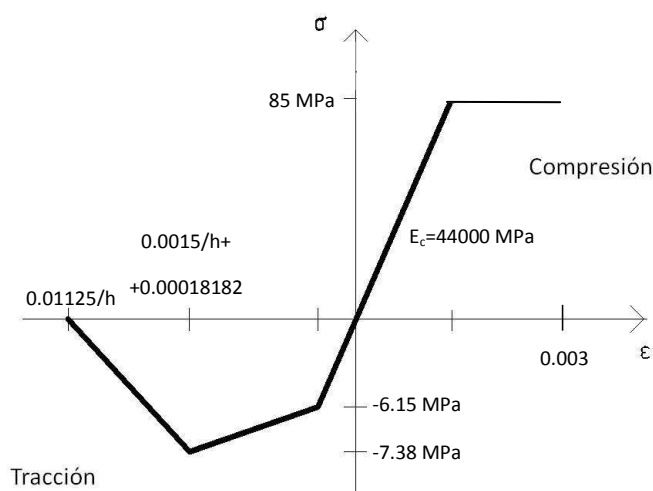
1.7.3 Dimensionamiento en rotura

1.7.3.1 Solicitaciones normales

Se ha comprobado que cada una de las secciones es capaz de resistir cada una de las sollicitaciones de cálculo.

Mediante software desarrollado por los propios autores del proyecto se ha llevado a cabo un cálculo en rotura introduciendo el diagrama tensión-deformación de cálculo en situación de agotamiento. Se ha empleado el diagrama tensión-deformación de cálculo que aparece en la

siguiente figura y que está basado en la propuesta que recogen las Recomendaciones Francesas:



Se han hecho análisis seccionales introduciendo los esfuerzos de axil y de flexión biaxial de dos tipos: sólo en situación de agotamiento según los dominios de deformación en rotura que indica la Recomendación Francesa y que es de similar aplicación al mostrado en la EHE-08. La posición considerada para los pivotes ha sido la siguiente:

PIVOTE A: Deformación del 10 por mil en la armadura más traccionada

PIVOTE B: Deformación del 3 por mil en la fibra más comprimida

PIVOTE C: Deformación limitada a $\frac{0.6 \cdot f_{c,28}}{E_{c,28}} = 0.002045$

$$\text{Posición} \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_B} \right) \cdot h = 0.318181 \cdot h$$

Además, se han realizado diagramas momento curvatura capaces de representar el comportamiento para cualquier nivel de carga.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los esfuerzos pésimos presentados en el apartado 0. Se considera que todo el resto de esfuerzos que no se incluyen en este apartado representan situaciones menos desfavorables para el elemento estructural objeto de estudio. Se puede observar que en todas las comprobaciones el axil último resistido es superior al axil de cálculo aplicado.

DIAGONALES COMPRIMIDAS (DC1, DC2 y DC3)

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-DC1-1	-558.85	-1056.00	1.89
ELU-DC2-1	-68.14	-140.50	2.06
ELU-DC3-1	42.36	66.29	1.56

ELU-DC3-2	-7.50	-12.37	1.65
-----------	-------	--------	------

DIAGONAL TRACCIONADA (DT1)

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-DT1-1	498.41	523.8	1.05
ELU-DT1-2	491.58	537.9	1.09
ELU-DT1-3	398.87	439.3	1.10

DIAGONALES TRACCIONADAS (DT2 y DT3)

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-DT2-1	253.82	364.40	1.44
ELU-DT2-2	159.96	232.60	1.45
ELU-DT3-1	233.17	277.00	1.19
ELU-DT3-2	89.21	112.30	1.26

RIGIDIZACIÓN TRANSVERSAL DEL TABLERO (RIGTAB)

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-RIGTAB-1	140.46	159.4	1.13
ELU-RIGTAB-2	169.09	176.4	1.04

TRIANGULACIÓN INFERIOR (DI)

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-DI-1	19.49	31.87	1.64
ELU-DI-2	163.48	166.7	1.02

NERVIO LONGITUDINAL DEL TABLERO (VTAB)

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-VTAB-1	-148.51	-347.20	2.34
ELU-VTAB-2	-534.99	-908.10	2.34

CORDÓN SUPERIOR (CC1, CC2, CC3 y CC4)

Tramo CC1

Combinación	N (kN)	Nu (kN)	Nu/N
ELU-CC1-1	-539	-3457	6.41
ELU-CC1-2	152	416	2.74
ELU-CC1-3	-234	-498	2.13
ELU-CC1-4	-384	-720	1.88
ELU-CC1-5	-259	-571	2.20
ELU-CC1-6	11.43	136.12	11.91
ELU-CC1-7	-673.076	-1975.00	2.93
ELU-CC1-8	-4.455	-1301.19	292.07
ELU-CC1-9	-470.774	-987.25	2.10
ELU-CC1-10	-402.24	-636.59	1.58
ELU-CC1-11	-616.197	-3897.43	6.32

Tramo CC2

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-CC2-1	-1133	-2912	2.57
ELU-CC2-2	-213	-2361	11.1
ELU-CC2-3	-1090	-2704	2.48
ELU-CC2-4	-1133	-3599	3.18
ELU-CC2-5	-213	-2361	11.08
ELU-CC2-6	-1078	-2861	2.65
ELU-CC2-7	-1231.206	-4321.817	3.51
ELU-CC2-8	-1348.407	-3277.5443	2.43

ELU-CC2-9	-1231.472	-2981.9594	2.42
ELU-CC2-10	-1348.044	-3511.4301	2.60
ELU-CC2-11	-1231.449	-3031.9529	2.46
ELU-CC2-12	-1231.23	-3480.7327	2.83

Tramo CC3

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-CC3-1	-1837	-4558	2.48
ELU-CC3-2	-446	-4168	9.35
ELU-CC3-3	-1795	-4355	2.43
ELU-CC3-4	-940	-4262	4.53
ELU-CC3-5	-526	-4160	7.91
ELU-CC3-6	-1795	-5115	2.85
ELU-CC3-7	-2015.749	-4844.6244	2.40
ELU-CC3-8	-2142.476	-4499.0626	2.10
ELU-CC3-9	-2015.885	-4448.7551	2.21
ELU-CC3-10	-2142.23	-4117.4316	1.92
ELU-CC3-11	-2015.821	-4821.991	2.39
ELU-CC3-12	-2015.75	-4822.3107	2.39

Tramo CC4

Combinación	N (kN)	N _u (kN)	N _u /N
ELU-CC4-1	-2243	-3355	1.50
ELU-CC4-2	-554	-2844	5.13
ELU-CC4-3	-2203	-3473	1.58
ELU-CC4-4	-1574	-2916	1.85
ELU-CC4-5	-633	-2695	4.26

ELU-CC4-6	-2203	-3043	1.38
ELU-CC4-7	-2142.225	-3220.6899	1.50
ELU-CC4-8	-2631.202	-2764.7768	1.05
ELU-CC4-9	-2142.476	-3013.3244	1.41
ELU-CC4-10	-2142.23	-3230.1245	1.51
ELU-CC4-11	-2631.197	-2717.3721	1.03
ELU-CC4-12	-2631.065	-3339.2401	1.27

CORDÓN INFERIOR (CI)

Combinación	N (kN)	N_u (kN)	N_u/N
T. Inicial CI-01	773.2	2347	3.04
T. Inicial CI-02	3440.9	4313	1.25
T. Inicial CI-03	3144.8	4214	1.34
T. Inicial CI-04	2541.8	4223	1.66
T. Inicial CI-05	1499.8	4027	2.69
T. Inicial CI-06	1695.9	3046	1.80
T. Final CI-07	3362.84	4122	1.23
T. Final CI-08	541.27	2206	4.08
T. Final CI-09	1339.2	3145	2.35
T. Final CI-10	1236.4	3259	2.64
T. Final CI-11	3036.4	4312	1.42

1.7.3.2 Cortante

Las comprobaciones a cortante se realizan siguiendo la formulación propuesta por la recomendación francesa. En la recomendación francesa para el cálculo de la contribución del hormigón se consideran dos casos en función de si la pieza está armada o pretensada.

En el caso de pieza pretensada se tiene la siguiente:

$$V_c = \frac{1}{1.5} 0.24 \sqrt{f_{c,28}} b_o d$$

Para las piezas armadas, se utiliza la siguiente formulación:

$$V_c = \frac{1}{1.5} 0.21 k \sqrt{f_{c,28}} b_o d; \quad \text{Tracción: } k = 1 - \frac{0,7 \sigma_{cm}}{f_{t,28}}; \quad \text{Compresión: } k = 1 + \frac{3 \sigma_{cm}}{f_{t,28}}$$

La resistencia a cortante aportada por las fibras sigue la siguiente expresión:

$$V_f = \frac{S \sigma_p}{\gamma \operatorname{tg} \theta}$$

σ_p es el valor de la tensión residual a tracción y tiene por valor:

$$\sigma_p \cdot K = 8.8 \text{ MPa}$$

$$K = 1.25$$

$$w_{\text{lim}} = 0.3 \text{ mm}$$

$$S = 0.9 \cdot b_o \cdot d$$

$$\gamma = 1.3$$

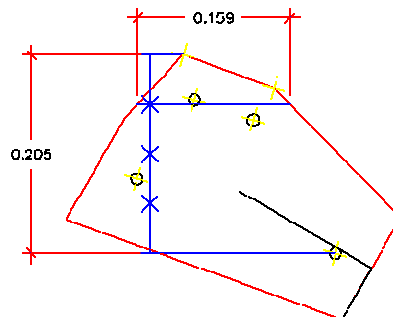
Por su parte, el rasante en juntas de hormigonado se calcula siguiendo los criterios de la EHE-08 para este fin.

A continuación se presenta la comprobación a cortante de todos los elementos de la pasarela:

1.7.3.2.1 Cordón superior (CC)

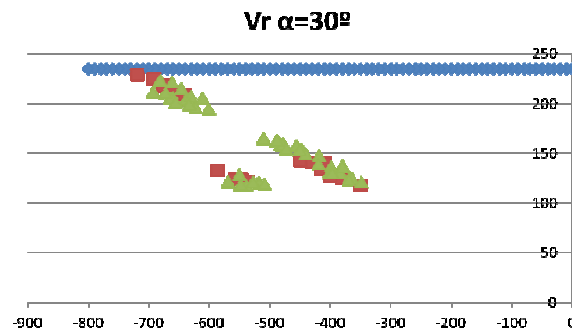
Tramo C1

Siguiendo los criterios de la EHE-08 para el cálculo del ancho útil cuando el espesor es variable (Art. 42.2.1), se obtiene que el área de cortante más desfavorable para la sección de las diagonales comprimidas se tiene para un ángulo de 30° tal y como se observa en la figura siguiente.



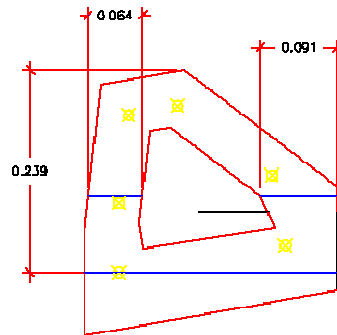
En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.033 \text{ m}^2$

En la siguiente figura se muestra los valores de cálculo del cortante frente al cortante resistido. Se observa que la sección resiste todas las solicitaciones de cálculo para el cortante resistido menor posible.

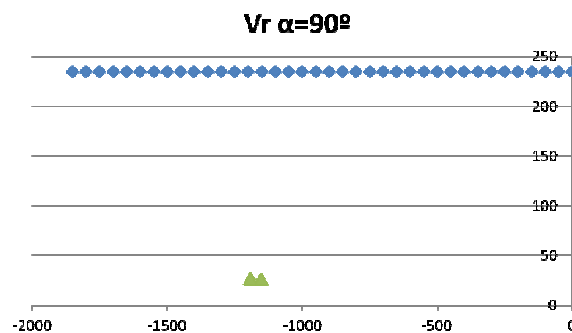


Tramo C2

En este caso el cortante resistido más bajo se produce para un ángulo igual a 90°

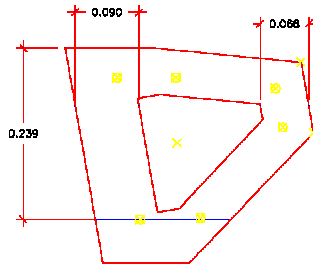


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.037m^2$

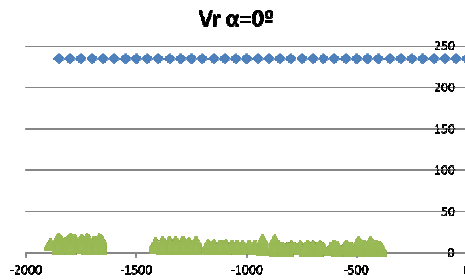


Tramo C3

En este caso el área de cortante más desfavorable se tiene para un ángulo de 45°.

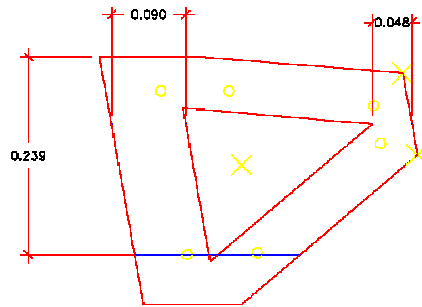


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.037m^2$

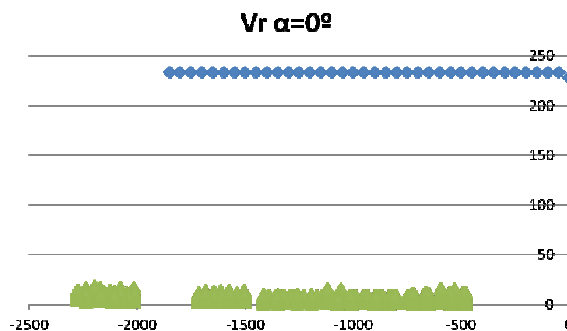


Tramo C4

En este caso el área de cortante más desfavorable se tiene para un ángulo de 0°.

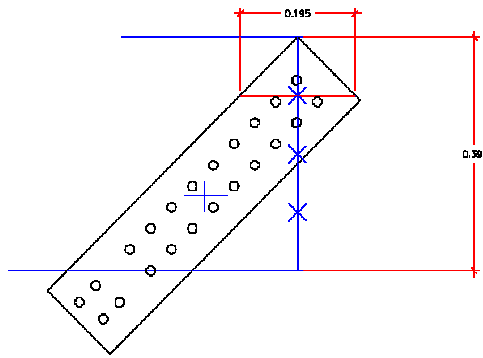


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.032m^2$

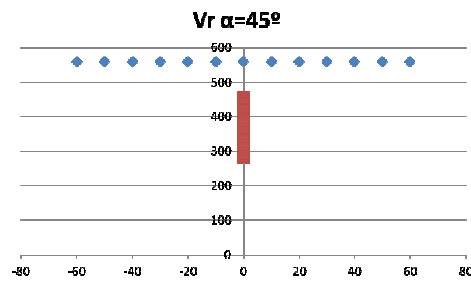


1.7.3.2.2 Cordón inferior (CI)

El área de cortante más desfavorable para la sección de las diagonales comprimidas se tiene para un ángulo de 45° tal y como se observa en la figura siguiente.

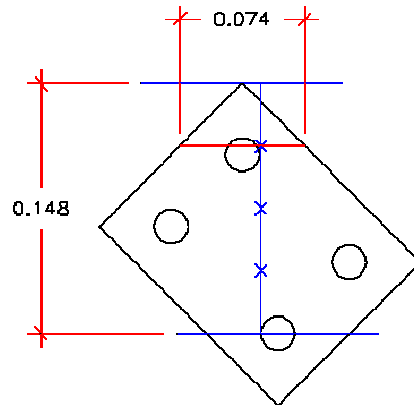


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.076m^2$

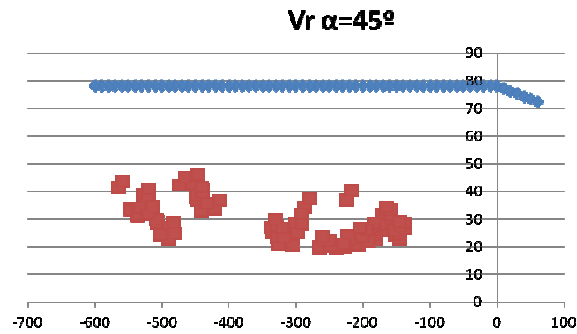


1.7.3.2.3 Diagonales comprimidas (DC)

Se obtiene que el área de cortante más desfavorable para la sección de las diagonales comprimidas se tiene para un ángulo de 45° tal y como se observa en la figura siguiente.

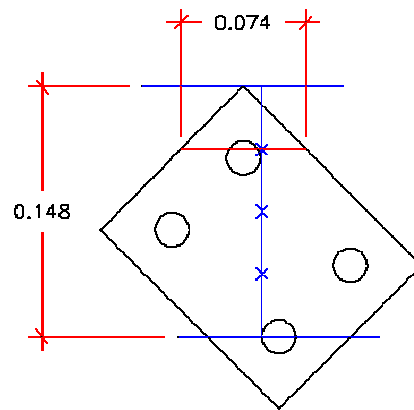


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.011m^2$

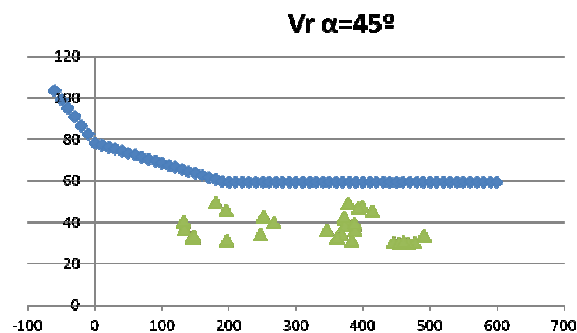


1.7.3.2.4 Diagonales traccionadas (DT)

Se obtiene que el área de cortante más desfavorable para la sección de las diagonales comprimidas se tiene para un ángulo de 45° tal y como se observa en la figura siguiente.

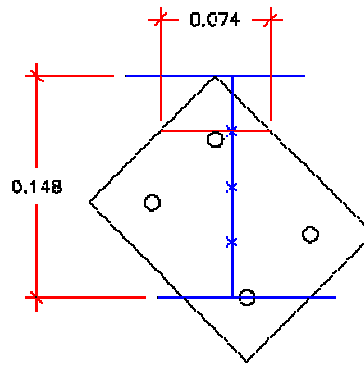


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.011m^2$

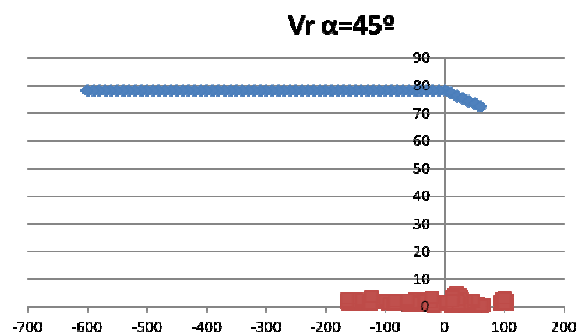


1.7.3.2.5 Diagonales de la triangulación inferior (DI)

Siguiendo los criterios de la EHE-08 para el cálculo del ancho útil cuando el espesor es variable (Art. 42.2.1), se obtiene que el área de cortante más desfavorable para la sección de las diagonales comprimidas se tiene para un ángulo de 45° tal y como se observa en la figura siguiente. Se ha considerado una sección de cálculo reducida, tal y como se muestra en la siguiente figura y que se corresponde con la sección de la viga que está incluida en la celosía:

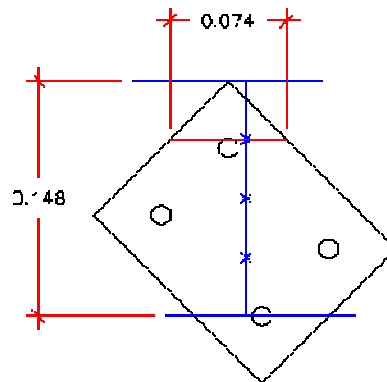


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.0084m^2$

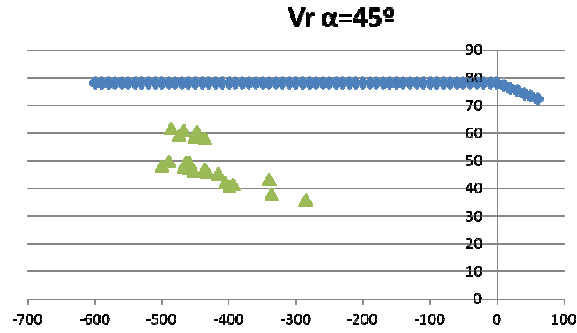


1.7.3.2.6 Viga lateral de apoyo del tablero en la celosía (VTAB)

Se obtiene que el área de cortante más desfavorable para la sección de las diagonales comprimidas se tiene para un ángulo de 45° tal y como se observa en la figura siguiente. Se ha considerado una sección de cálculo reducida, tal y como se muestra en la siguiente figura y que se corresponde con la sección de la viga que está incluida en la celosía:

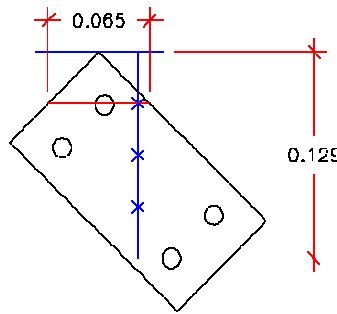


En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.0084m^2$

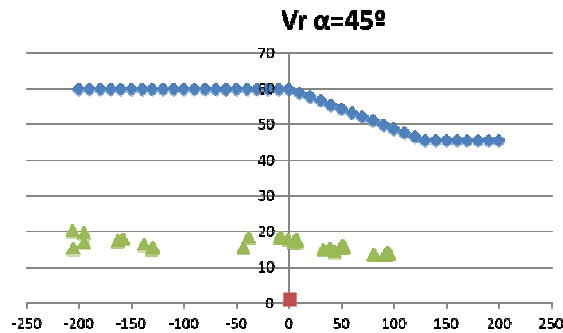


1.7.3.2.7 Rigidización transversal del tablero (RIGTAB)

Se obtiene que el área de cortante más desfavorable para la sección de las diagonales comprimidas se tiene para un ángulo de 45° tal y como se observa en la figura siguiente.



En este caso el área de cortante es: $A_c = b_o d = 0.0084m^2$



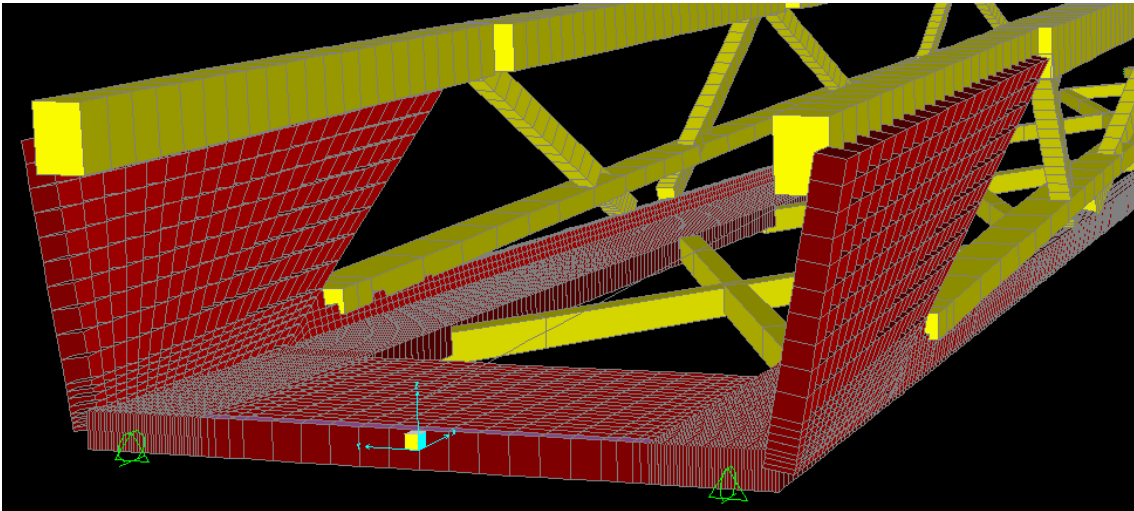
1.7.3.3 Rasante

Los fenómenos de rasante tienen lugar en las juntas constructivas que se localizan en el cordón inferior y superior. En estas zonas se debe garantizar que los hormigones colocados en fases diferentes trabajen de manera conjunta al igual que se ha previsto en el modelo. Los mayores problemas de rasante tienen lugar en la zona de transmisión del pretensado. Además, este fenómeno es acusado en la zona en la que el cordón superior e inferior varía el axil, esto es en los nudos de la celosía. Los esfuerzos debidos al rasante y la armadura necesaria para resistirlos son objeto de este apartado.

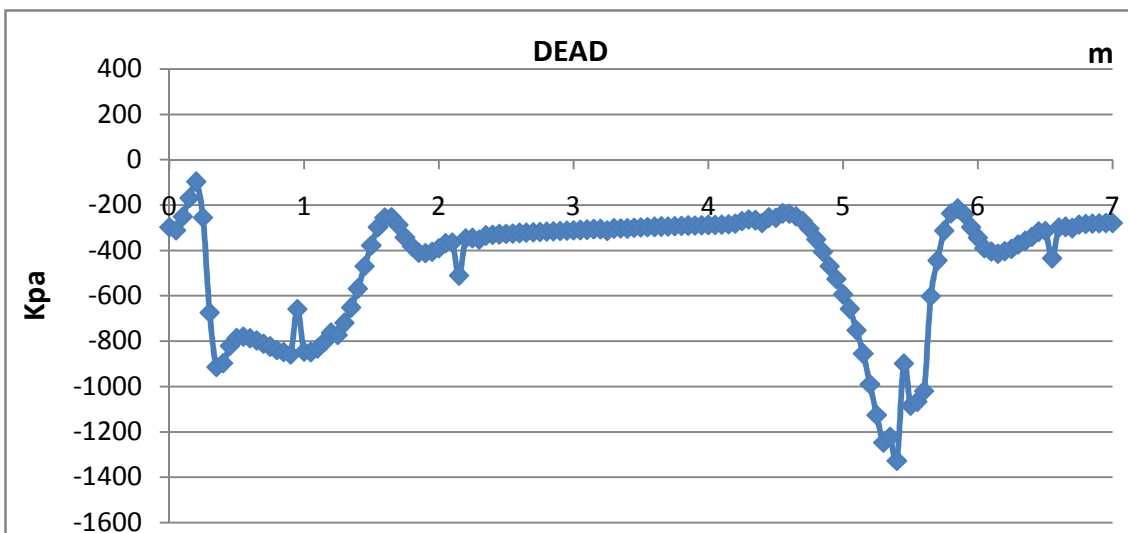
1.7.3.3.1 Cordón Inferior (CI)

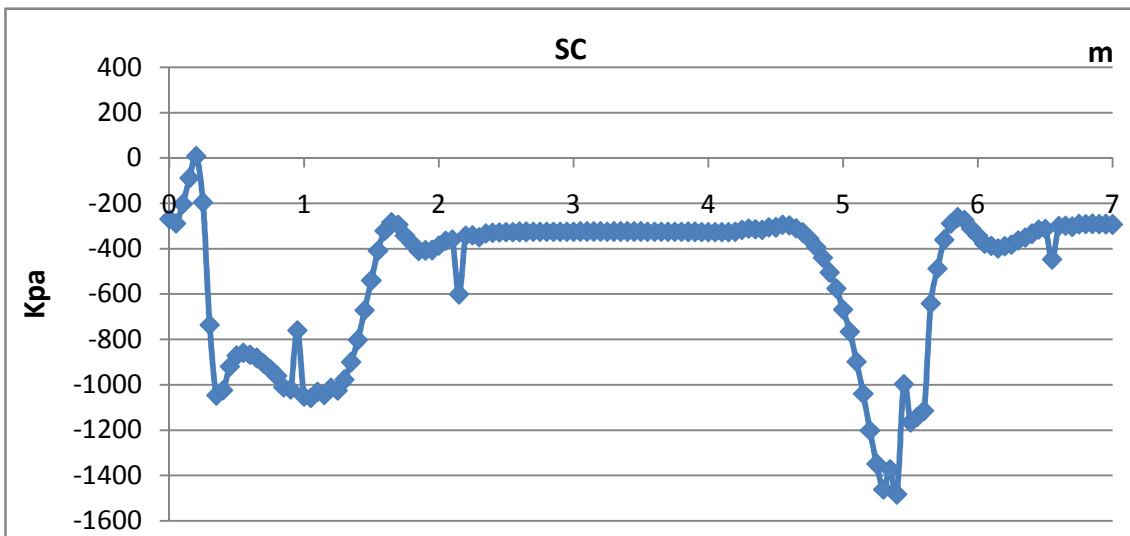
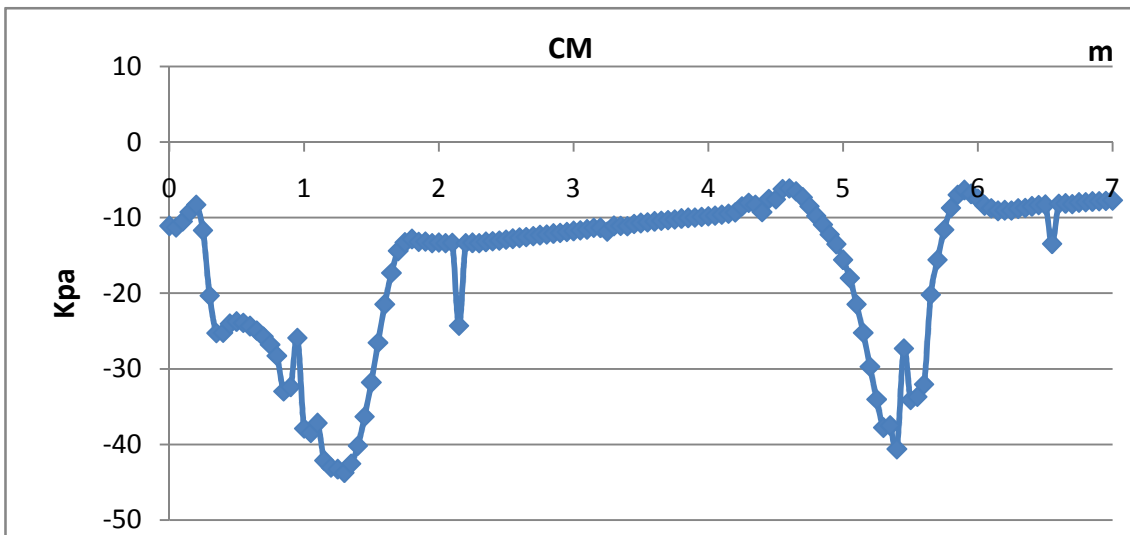
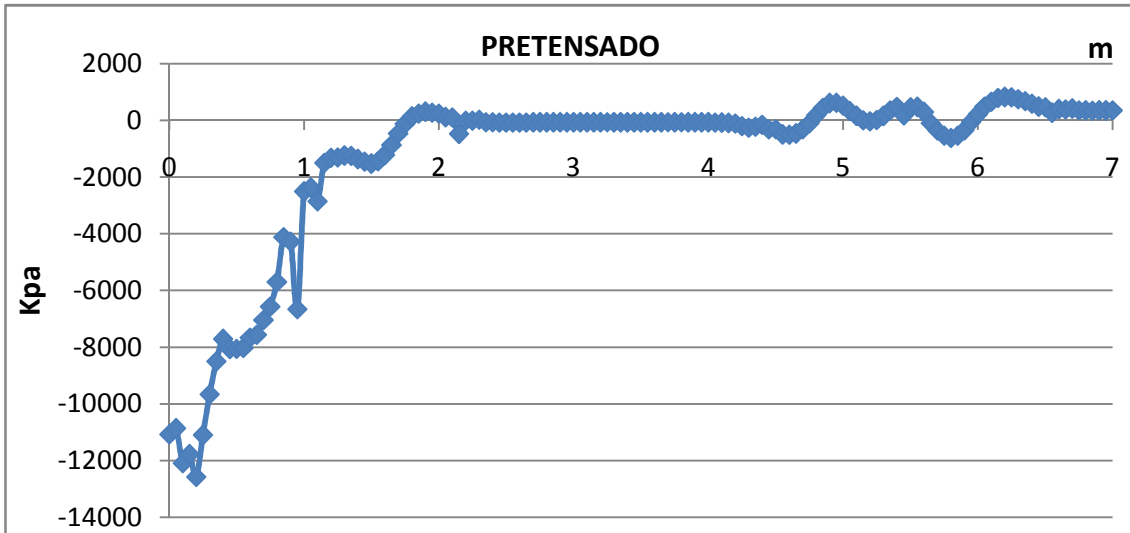
Ya que los mayores problemas de rasante se encuentran en el cordón inferior, se ha desarrollado un modelo específico para la región de transmisión del pretensado y de los nudos en los que confluyen las diagonales (DC, DT) y el cordón inferior (CI).

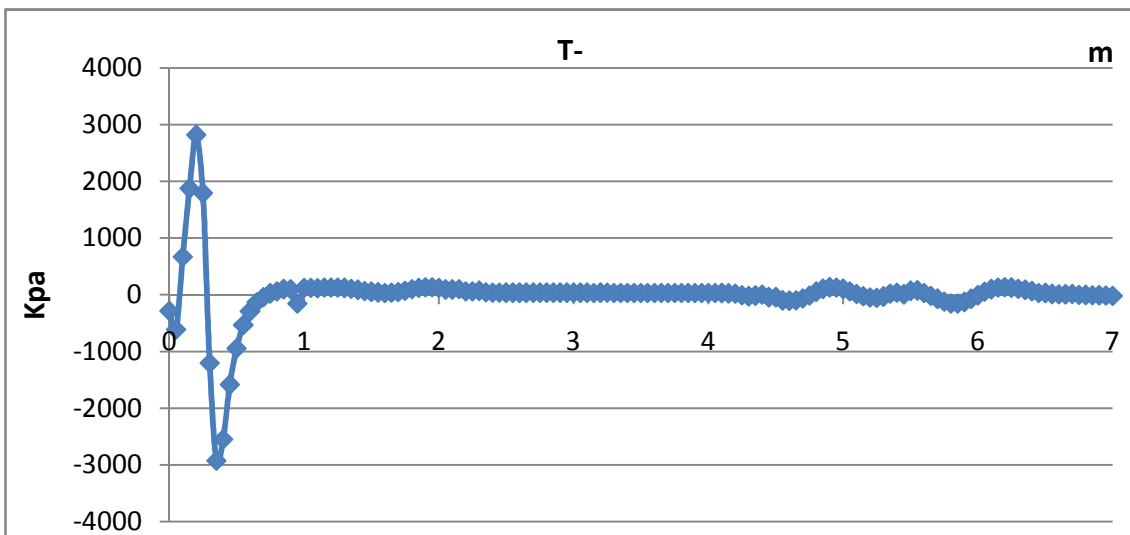
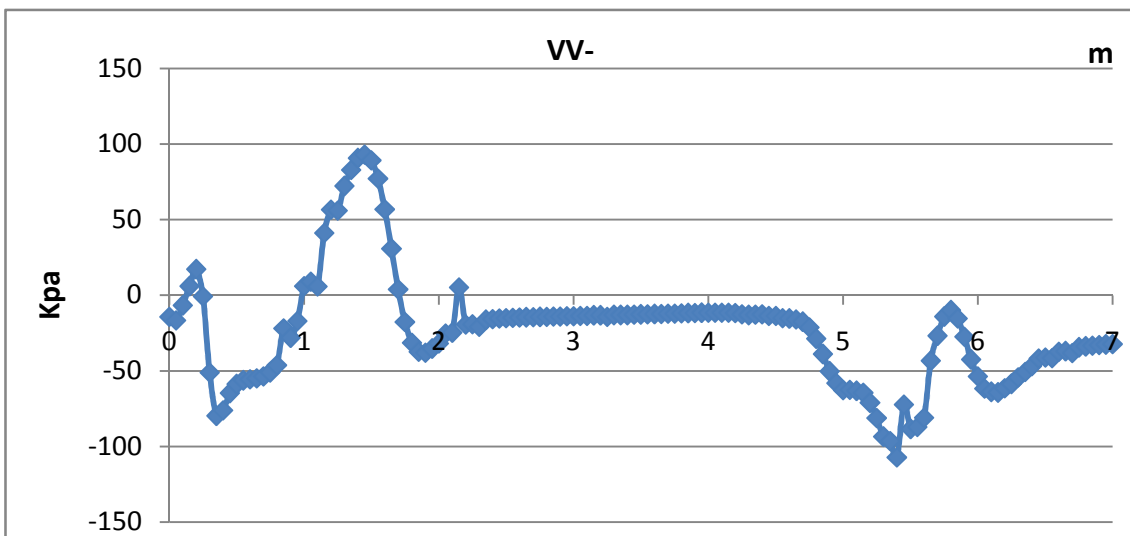
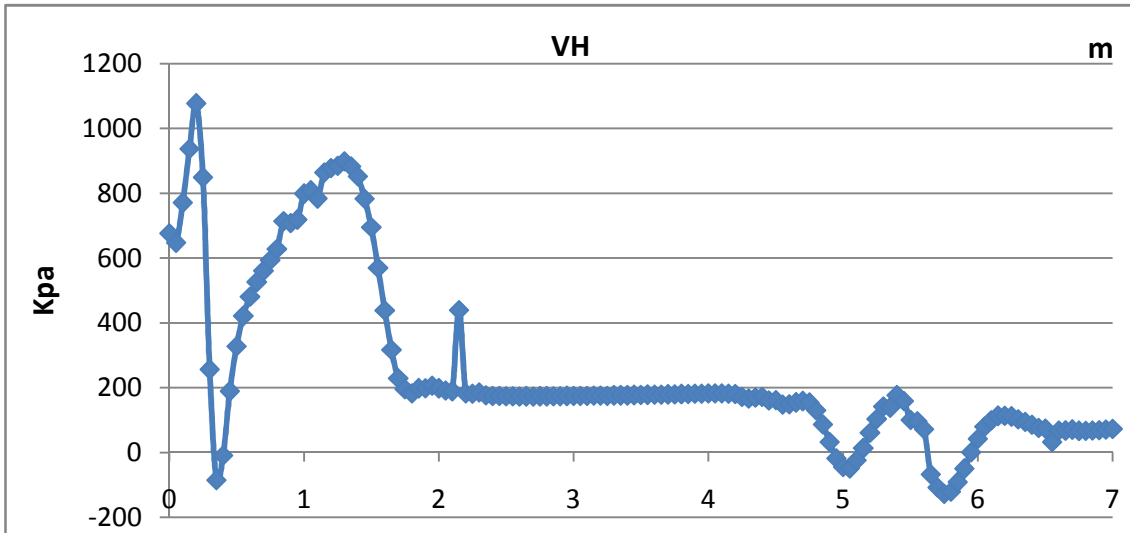
En este modelo, se ha considerado el cordón inferior como un elemento tipo Shell, distribuyendo el pretensado de la misma manera en que se encuentra distribuido en el diseño. Se ha considerado una longitud de transmisión del pretensado de 0,30 m, acorde con los ensayos realizados en la UPV, con una distribución lineal. Además, se considera un envainado de 8 de los cables hasta una longitud de 0.6 m desde el extremo de la pasarela en cada CI.



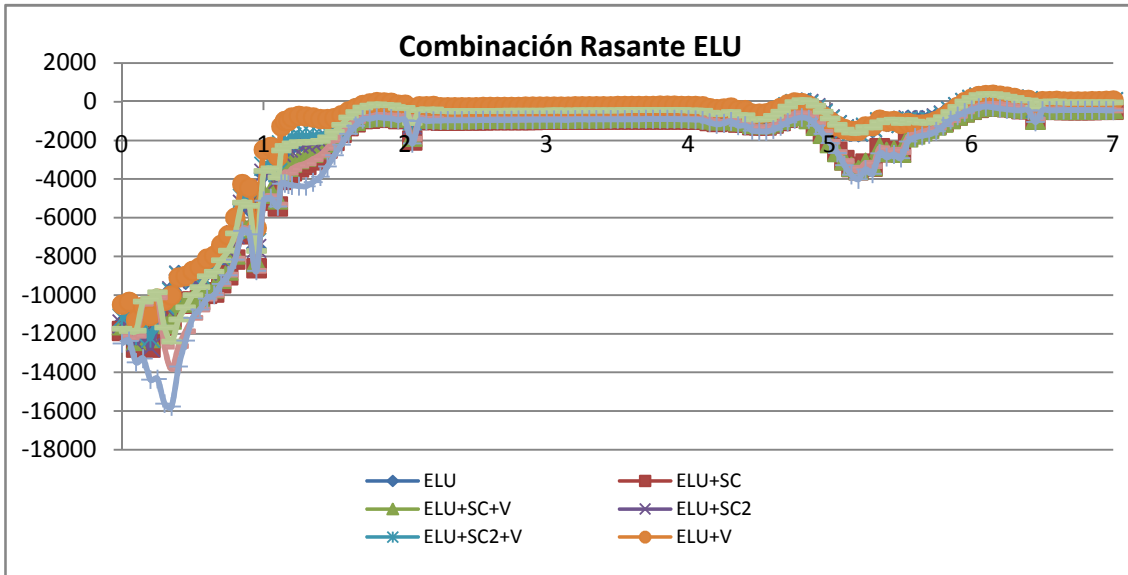
Los resultados del segundo modelo en la posición de la junta rasante se muestran en las siguientes gráficas. Los resultados son directamente los obtenidos del SAP2000 mediante un análisis lineal de la estructura.







La combinación de esfuerzos en eELU de las siguientes gráficas se muestra a continuación:



Siguiendo el Artículo 47º de la EHE-08, utilizando un parámetro de rugosidad de la junta de $\eta=1$ y con armadura perpendicular a la misma se tiene que:

$$A_{st} = \frac{\tau_{r,d}}{f_{y\alpha,d}} h$$

Siendo,

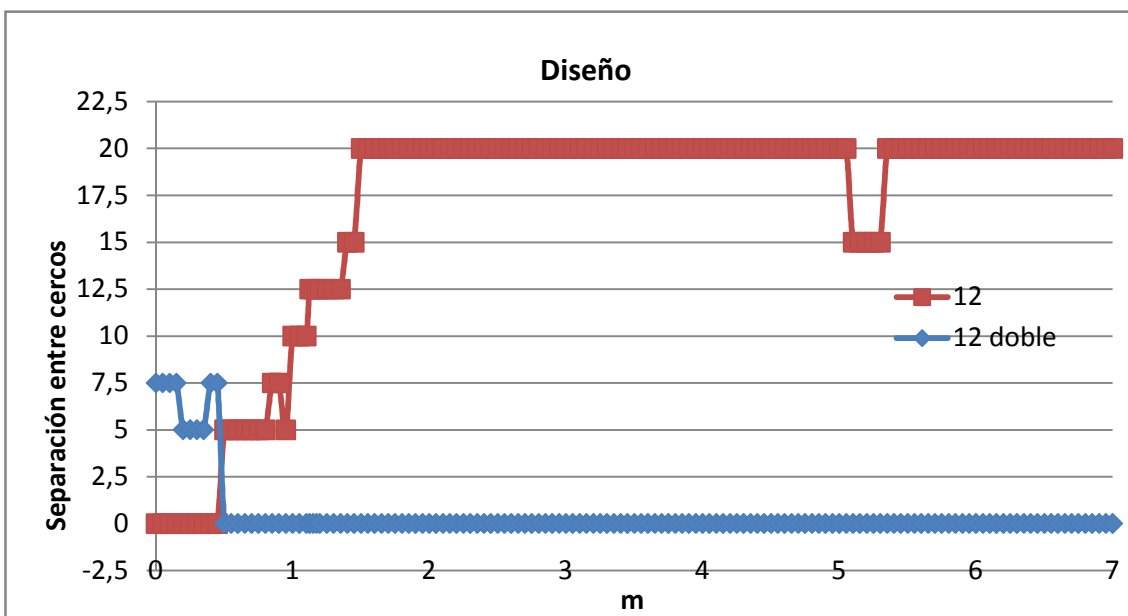
A_{st} : cuantía de armadura por unidad de longitud

$\tau_{r,d}$: Tensión rasante de cálculo

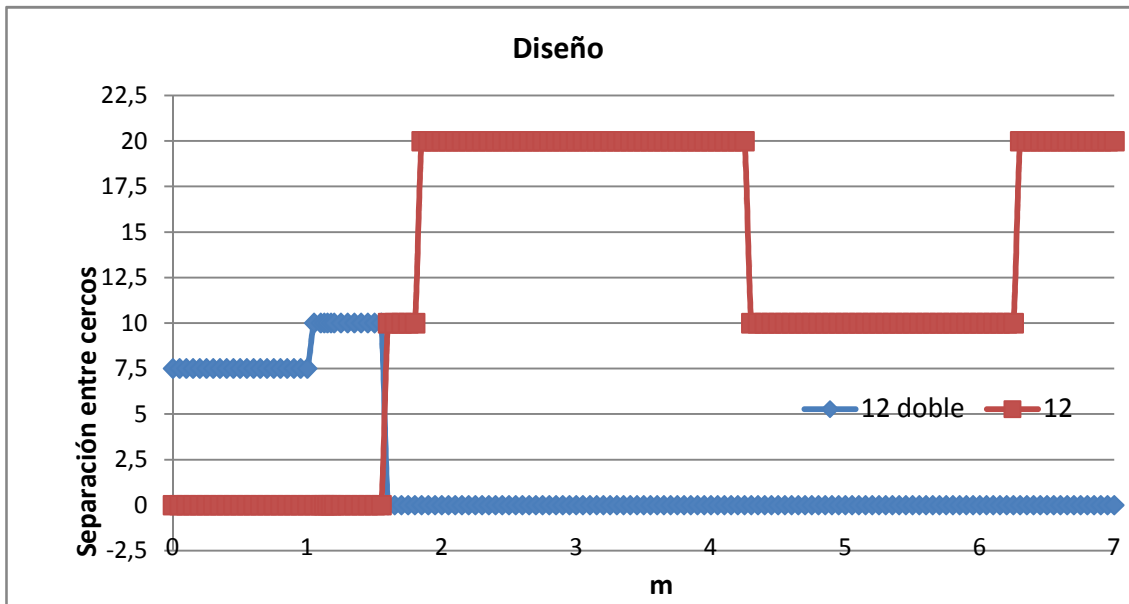
$f_{y\alpha,d}$: 400 MPa

h : 0.15 m

Según esta formulación, el armado estrictamente necesario sería el siguiente:



Este resulta ser inferior en todo punto al armado propuesto, que se muestra a continuación:



La armadura utilizada ha sido, cercos de $\Phi 12$ o bien grupos de dos cercos de $\Phi 12$. Por tanto, el armado propuesto es suficiente para resistir los esfuerzos de rasante generados en la junta en el cordón inferior.

1.7.3.3.2 Cordón superior (CS)

En el cordón superior el rasante se localiza en los nudos. Sin embargo, los esfuerzos rasantes e cálculo en estos nudos son inferiores a los esfuerzos del cordón superior. Por tanto, y debido a que la armadura a disponer es la misma en ambos cordones, a excepción de la armadura en extremos por efecto local del pretensado, queda garantizada la seguridad de la junta a rasante del cordón superior.

1.7.3.4 Torsión

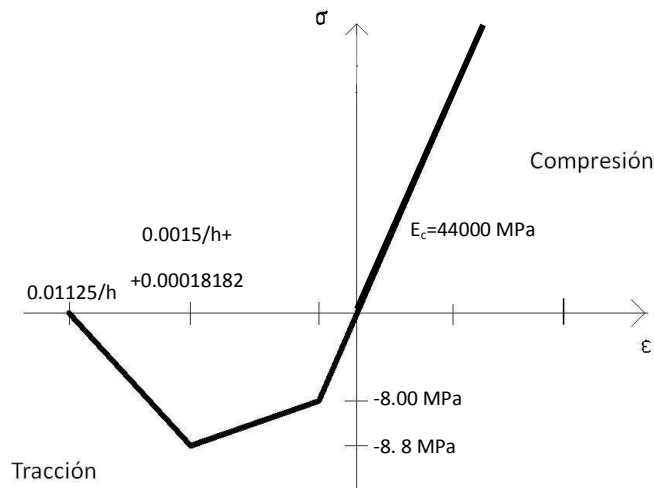
Los efectos de la torsión en cada uno de los elementos son poco significativos por lo que no ha sido necesario llevar a cabo esta comprobación. La estructura de la pasarela resiste los esfuerzos torsores globales mediante reparto desigual de esfuerzos axiales y flectores biaxiales a lo largo de todos sus elementos, aunque localmente no exista ningún elemento con importantes esfuerzos de torsión aplicada.

1.7.4 Dimensionamiento en servicio

1.7.4.1 Fisuración

Se ha llevado a cabo la comprobación en servicio de cada uno de los elementos de la estructura.

Mediante software desarrollado por los propios autores del proyecto se ha llevado a cabo un cálculo en servicio introduciendo el correspondiente diagrama tensión-deformación en servicio. Se ha empleado el diagrama tensión-deformación que aparece en la siguiente figura y que está basado en la propuesta que recogen las Recomendaciones Francesas:



Se han hecho análisis seccionales introduciendo los esfuerzos de axil y de flexión biaxial indicados en el apartado 1.6.4.2.

A continuación se presentan los resultados donde se muestran las tensiones y las deformaciones en la fibra más comprimida y en la fibra más traccionada. A su vez, se lleva a cabo una estimación de la abertura característica de fisura suponiendo una longitud característica igual a $2h/3$, siendo el h el canto de cada una de las secciones. Asimismo, se incluye una tabla con las tensiones de cada una de las armaduras para cada una de las combinaciones de esfuerzos.

DIAGONALES COMPRIMIDAS (DC1, DC2 y DC3)

Combinación	$\epsilon_{\max \text{ trac}}$	$\sigma_{\max \text{ trac}}$	w_k (mm)	$\epsilon_{\max \text{ comp}}$	$\sigma_{\max \text{ comp}}$
ELS-DC-1	0.0001	4.01	0.01	-0.0009	-38.90
ELS-DC-2	0.0001	6.23	0.01	-0.0002	-10.70
ELS-DC-3	0.0006	8.03	0.06	-0.0008	-37.30
ELS-DC-4	0.0003	8.01	0.03	-0.0005	-20.69
ELS-DC-5	0.0004	8.02	0.04	-0.001	-45.04
ELS-DC-6	0.0006	8.03	0.06	-0.0012	-52.19

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)
ELS-DC-1	-32.4	-130.5	-28.1	-126.2
ELS-DC-2	12.2	-3.8	-16.5	-32.5
ELS-DC-3	-107.9	-26.8	-27.9	53.2

ELS-DC-4	0.3	21.7	-64.4	-43.0
ELS-DC-5	-142.2	-47.0	-80.3	14.9
ELS-DC-6	35.0	-104.9	-17.2	-157.1

DIAGONAL TRACCIONADA (DT1)

Combinación	$\epsilon_{\max \text{ trac}}$	$\sigma_{\max \text{ trac}}$	w_k (mm)	$\epsilon_{\max \text{ comp}}$	$\sigma_{\max \text{ comp}}$
ELS-DT1-1	0.0006	8.05	0.08	-0.0004	-19.57
ELS-DT1-2	0.0015	8.14	0.20	0	0.99
ELS-DT1-3	0.0005	8.03	0.07	-0.0002	-7.95
ELS-DT1-4	0.0005	8.04	0.07	-0.0002	-9.57
ELS-DT1-5	0.0023	8.22	0.30	-0.0006	-26.11
ELS-DT1-6	0.0006	8.05	0.08	-0.0004	-19.57

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)
ELS-DT1-1	64.5	-39.0	77.0	-26.5
ELS-DT1-2	224.0	73.9	227.2	77.2
ELS-DT1-3	-16.1	-17.1	78.9	78.0
ELS-DT1-4	57.9	78.3	-19.0	1.5
ELS-DT1-5	71.6	323.1	8.9	260.5
ELS-DT1-6	64.5	-39.0	77.0	-26.5

DIAGONALES TRACCIONADAS (DT2 y DT3)

Combinación	$\epsilon_{\max \text{ trac}}$	$\sigma_{\max \text{ trac}}$	w_k (mm)	$\epsilon_{\max \text{ comp}}$	$\sigma_{\max \text{ comp}}$
ELS-DT23-1	0.0007	8.04	0.07	-0.0005	-22.57
ELS-DT23-2	0.0012	8.08	0.12	-0.0004	-16.74
ELS-DT23-3	0.0011	8.07	0.11	-0.0007	-29.81

ELS-DT23-4	0.0012	8.08	0.12	-0.0008	-33.11
ELS-DT23-5	0.0008	8.05	0.08	-0.0004	-16.71
ELS-DT23-6	0.001	8.06	0.10	-0.0004	-19.17

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)
ELS-DT23-1	-38.2	-54.9	93.0	76.3
ELS-DT23-2	-15.1	14.5	140.0	169.6
ELS-DT23-3	-21.2	-64.5	146.1	102.8
ELS-DT23-4	89.0	158.7	-70.0	-0.3
ELS-DT23-5	-22.4	60.6	28.5	111.5
ELS-DT23-6	127.5	20.3	82.8	-24.4

RIGIDIZACIÓN TRANSVERSAL DEL TABLERO (RIGTAB)

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-RIGTAB-1	0.0001	2.28	0.01	-0.0001	-5.21
ELS-RIGTAB-2	0.0012	8.09	0.13	-0.0002	-9.60
ELS-RIGTAB-3	0.0001	4.66	0.01	0	-0.47
ELS-RIGTAB-4	0.0001	6.35	0.01	-0.0001	-2.97
ELS-RIGTAB-5	0.0002	7.29	0.02	-0.0001	-3.91
ELS-RIGTAB-6	0.001	8.06	0.10	-0.0003	-11.05
ELS-RIGTAB-7	0.001	8.07	0.10	-0.0003	-11.16

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)
ELS-RIGTAB-1	-15.3	7.9	-14.4	8.8
ELS-RIGTAB-2	177.1	-27.3	173.5	-31.0

ELS-RIGTAB-3	2.7	11.0	10.5	18.8
ELS-RIGTAB-4	5.6	25.4	-4.2	15.6
ELS-RIGTAB-5	-4.2	30.9	-5.2	29.9
ELS-RIGTAB-6	133.0	-39.4	132.3	-40.1
ELS-RIGTAB-7	142.5	-39.2	141.6	-40.0

TRIANGULACIÓN INFERIOR (DI)

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-DI-1	0.0002	7.37	0.02	-0.0005	-20.94
ELS- DI -2	0.0002	8.00	0.02	0	-1.17
ELS- DI -3	0.0002	8.00	0.02	-0.0002	-7.53
ELS- DI -4	0.0003	8.01	0.03	-0.0003	-12.08
ELS- DI -5	0.0006	8.04	0.06	-0.0004	-18.66
ELS- DI -6	0.0005	8.02	0.05	-0.0003	-15.30

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)
ELS-DI-1	-65.8	-5.4	-56.3	4.1
ELS- DI -2	31.6	7.4	30.1	5.9
ELS- DI -3	-19.6	3.2	-0.1	22.7
ELS- DI -4	35.4	-7.5	12.4	-30.5
ELS- DI -5	-35.6	70.2	-28.6	77.2
ELS- DI -6	57.6	-18.7	44.1	-32.2

NERVIO LONGITUDINAL DEL TABLERO (VTAB)

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-VTAB-1	-0.0003	-13.44	0.00	-0.0013	-55.34

ELS-VTAB-2	0.0001	5.44	0.01	-0.0005	-21.61
ELS-VTAB-3	0.0001	3.37	0.01	-0.0008	-35.05
ELS-VTAB-4	0.0001	3.35	0.01	-0.0008	-35.17
ELS-VTAB-5	0	1.97	0.00	-0.001	-42.63
ELS-VTAB-6	0.0001	2.54	0.01	-0.0007	-31.70
ELS-VTAB-7	0.0001	4.61	0.01	-0.0011	-48.26

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)
ELS-VTAB-1	-218.4	-164.2	-148.5	-94.3
ELS-VTAB-2	-15.1	-75.2	1.6	-58.4
ELS-VTAB-3	-129.7	-91.4	-52.6	-14.3
ELS-VTAB-4	-52.8	-14.5	-130.1	-91.8
ELS-VTAB-5	-154.2	-32.1	-152.7	-30.6
ELS-VTAB-6	-18.0	-99.3	-33.2	-114.5
ELS-VTAB-7	-174.3	-56.8	-141.7	-24.2

CORDÓN SUPERIOR (CC1, CC2, CC3 y CC4)

Tramo CC1

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-CC1-1	0	-0.10	0.00	-0.0003	-13.76
ELS- CC1-2	0.0001	6.20	0.02	0	-1.88
ELS- CC1-3	0.0002	7.70	0.03	-0.0003	-12.37
ELS- CC1-4	0.0006	8.05	0.08	-0.0007	-33.00
ELS- CC1-5	0.0006	8.05	0.09	-0.0008	-33.78
ELS- CC1-6	0	-0.32	0.00	-0.0002	-8.57
ELS- CC1-7	0.0008	8.07	0.12	-0.0008	-36.38

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)
ELS-CC1-1	-36.8	-11.5	-13.9	-42.7
ELS- CC1-2	11.8	22.1	19.2	3.2
ELS- CC1-3	-29.5	16.6	17.6	-22.8
ELS- CC1-4	2.7	69.0	46.0	-66.3
ELS- CC1-5	-15.8	76.4	58.9	-65.1
ELS- CC1-6	-23.0	-32.8	-29.6	-13.4
ELS- CC1-7	6.5	100.7	76.8	-63.4

Tramo CC2

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-CC2-1	0	2.20	0.01	-0.0007	-29.91
ELS- CC2-2	0.0001	2.46	0.01	-0.0002	-7.79
ELS- CC2-3	0.0001	3.69	0.01	-0.0007	-29.87
ELS- CC2-4	-0.0001	-4.40	0.00	-0.0005	-22.34
ELS- CC2-5	0	2.13	0.01	-0.0002	-7.06
ELS- CC2-6	0.0001	2.88	0.01	-0.0007	-28.71

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)	σ_{s5} (MPa)	σ_{s6} (MPa)
ELS-CC2-1	-103.0	-106.9	-70.8	-44.9	-26.4	-15.6
ELS- CC2-2	-3.2	5.3	5.7	-0.6	-13.8	-23.7
ELS- CC2-3	-100.7	-106.4	-71.2	-44.6	-23.6	-10.8
ELS- CC2-4	-37.7	-37.6	-61.0	-75.9	-84.1	-88.3
ELS- CC2-5	-23.1	-12.7	2.5	4.2	-7.0	-16.4
ELS- CC2-6	-97.2	-103.3	-71.4	-46.5	-25.9	-13.3

Tramo CC3

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-CC3-1	-0.0003	-14.14	0.00	-0.0007	-29.87
ELS- CC3-2	-0.0003	-14.14	0.00	-0.0007	-29.87
ELS- CC3-3	-0.0003	-12.36	0.00	-0.0007	-30.47
ELS- CC3-4	-0.0001	-5.00	0.00	-0.0004	-16.48
ELS- CC3-5	0	-0.65	0.00	-0.0002	-7.88
ELS- CC3-6	-0.0004	-18.85	0.00	-0.0005	-23.40

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)	σ_{s5} (MPa)	σ_{s6} (MPa)
ELS-CC3-1	-121.2	-122.2	-94.7	-81.9	-75.8	-74.5
ELS- CC3-2	-121.2	-122.2	-94.7	-81.9	-75.8	-74.5
ELS- CC3-3	-121.4	-123.6	-94.5	-80.1	-71.3	-68.6
ELS- CC3-4	-34.2	-30.9	-45.0	-53.7	-62.3	-65.9
ELS- CC3-5	-26.7	-18.8	-6.9	-7.6	-21.1	-29.1
ELS- CC3-6	-92.1	-97.0	-104.0	-103.3	-94.9	-89.9

Tramo CC4

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-CC4-1	0.0004	8.04	0.09	-0.0014	-59.88
ELS- CC4-2	-0.0001	-2.39	0.00	-0.0002	-8.10
ELS- CC4-3	0.0001	6.21	0.03	-0.0009	-38.61
ELS- CC4-4	0.0005	8.05	0.10	-0.0014	-59.50
ELS- CC4-5	-0.0001	-2.79	0.00	-0.0002	-7.99
ELS- CC4-6	0.0003	8.02	0.07	-0.0014	-61.37

Combinación	σ_{s1} (MPa)	σ_{s2} (MPa)	σ_{s3} (MPa)	σ_{s4} (MPa)	σ_{s5} (MPa)	σ_{s6} (MPa)
-------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------

ELS-CC4-1	-104.9	-172.8	-234.3	-206.7	-57.0	9.6
ELS- CC4-2	-18.0	-23.9	-34.1	-33.4	-21.4	-15.7
ELS- CC4-3	-48.6	-91.8	-153.7	-144.5	-53.5	-11.5
ELS- CC4-4	-108.6	-176.9	-231.6	-201.4	-49.7	17.4
ELS- CC4-5	-22.3	-27.2	-33.8	-32.6	-22.2	-17.4
ELS- CC4-6	-81.5	-152.1	-242.2	-223.0	-72.1	-3.2

CORDÓN INFERIOR (CI)

Combinación	ϵ_{\max} trac	σ_{\max} trac	w_k (mm)	ϵ_{\max} comp	σ_{\max} comp
ELS-T-Ini-01	0.0002	8.00	0.02	-0.0010	-45.50
ELS-T-Ini-02	0.0014	8.10	0.14	-0.0010	-42.01
ELS-T-Ini-03	0.0003	8.01	0.03	-0.0010	-44.10
ELS-T-Ini-04	0.0004	8.02	0.04	-0.0008	-35.84
ELS-T-Ini-05	-0.0001	-5.27	0.00	-0.0003	-15.26
ELS-T-Ini-06	-0.0001	-3.09	0.00	-0.0001	-5.58
ELS-T-Fin-01	-0.0002	-10.63	0.00	-0.0003	-13.44
ELS-T- Fin -02	0.0002	8.00	0.02	0.0000	-0.98
ELS-T- Fin -03	0.0005	8.02	0.05	-0.0009	-38.16
ELS-T- Fin -04	0.0005	8.03	0.05	-0.0008	-33.29
ELS-T- Fin -05	0.0001	6.04	0.01	0.0000	-0.98
ELS-T- Fin -06	-0.0001	-3.22	0.00	-0.0002	-10.29

Todos los resultados correspondientes a las tablas anteriores representan estados para la combinación característica. Bajo esta combinación se debe comprobar que la tensión máxima del hormigón no supera el 60% de la resistencia característica. En nuestro caso particular, esto significa que la tensión de compresión en valor absoluto no puede superar los 90 MPa. En ninguna situación se llega a superar este límite.

En cuanto al comportamiento para controlar la fisuración por tracciones, la EHE-08 dispone que para hormigón armado y bajo la combinación cuasipermanente la abertura máxima de fisura permitida es igual a 0.2mm para una clase de exposición IIIa (clase de exposición en la

que se encuentra esta estructura). Para el caso de hormigón pretensado dispone que bajo la combinación frecuente se debe cumplir el Estado Límite de Descompresión.

El uso del hormigón de muy alta resistencia y gracias a la presencia de fibras de acero se producen unas mejoras sustanciales en temas de durabilidad como consecuencia de que la red de fisuración se produce con separaciones más bajas y con aberturas de fisura más baja, por lo que los límites impuestos por la EHE-08 pueden resultar excesivamente conservadores para este tipo de estructuras.

Si se supone que todos los elementos, a excepción del cordón inferior, son asimilables a "hormigón armado" se podría permitir una abertura de fisura de 0.2mm. En nuestro caso esto se cumple prácticamente en todos los casos y para una combinación más pésima (la combinación característica), a excepción de un par de situaciones correspondientes a la diagonal traccionada DT-1 en el que se llega a un valor máximo de abertura característica de 0.3mm. Habría que verificar que con la combinación cuasipermanente se reduce este valor a 0.2mm lo cual parece que se cumplirá sin problemas.

Por otra parte, se ha supuesto que la separación entre las fisuras es igual a $2h/3$. La experimentación de este tipo de elementos en laboratorio arroja en muchas ocasiones resultados de separaciones entre fisuras mucho más pequeñas lo cual reduciría la abertura característica de fisura.

1.7.4.2 Flechas

Se deberá verificar que la flecha máxima vertical correspondiente al valor frecuente de la sobrecarga de uso no supera al valor siguiente para pasarelas peatonales $L/1200$.

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga de uso en pasarelas	0,4	0,4	0

Los valores de las flechas (en cm) que producen los diferentes casos de carga en centro-luz a nivel del cordón inferior, tablero y el cordón superior se muestran en la siguiente tabla:

	DEAD	CM	1.05*PRET	0.95×PRET	SC
CORDÓN INFERIOR	7.56	0.17	-9.29	-6.35	8.36
TABLERO	7.39	0.15	-9.96	-6.8	9.21
CORDÓN SUPERIOR	7.15	0.16	-9.6	-6.56	8.38

El límite de flecha para la fracción frecuente de la pasarela es igual a $4350 \text{ cm}/1200 = 3.625 \text{ cm}$

En nuestro caso la fracción frecuente para los tres puntos considerados en la sección de centro luz de la pasarela son iguales a: $.4 \times 8.36 = 3.34 \text{ cm}$; $.4 \times 9.21 = 3.68 \text{ cm}$; $.4 \times 8.38 = 3.35 \text{ cm}$. Tan sólo se excede este límite en la zona del tablero en 0.6mm y se asume como aceptable.

La flecha máxima aproximada que se espera que tenga el tablero se produce a tiempo finito con el siguiente valor:

$$y_{\max} = (7.56 - .6.35 + 0.17) \times (1 + 1.57) + 0.4 * 8.36 = 6.89 \text{ cm (L/631)}$$

La flecha mínima aproximada se espera que se produzca en el momento de tesar.

Por lo tanto:

$$y_{\min} = 7.56 - .9.29 = -1.73 \text{ cm (L/2514)}$$

1.7.4.3 Vibraciones

En el artículo 51.2 de la EHE-08 se indican las condiciones que han de cumplir las pasarelas. A falta de cálculos más precisos, los criterios de aceleración máxima son admisibles cuando para pasarelas con una frecuencia del primer modo de flexión vertical inferior a 5Hz cumplen con la siguiente limitación:

$$y_e \leq \frac{0,5\sqrt{f_o}}{4\pi^2 f_o^2 k\psi}$$

En nuestro caso,

$$f = 2.1 \text{ Hz}$$

$$k = 1,0 \text{ (viga biapoyada)}$$

$$\psi = 10.15 \text{ (viga de 43,5 m de luz)}$$

Con estas restricciones, la flecha estática producida por un peatón de 750 N situado en el punto de máxima flecha (y_e) es:

$$y_e \leq \frac{0,5\sqrt{f_o}}{4\pi^2 f_o^2 k\psi} = 0.041 \text{ cm}$$

Realizando un análisis en SAP2000, la flecha máxima bajo estas condiciones de carga es:

$$y_e = 0.029 \text{ cm}$$

1.8 Dimensionamiento de los neoprenos

Para el cálculo de los aparatos de apoyo se ha seguido las "Recomendaciones para el proyecto y puesta en obra de los aparatos elastoméricos para puentes de carretera", editado por el M.O.P.U.

Las acciones verticales y de peso propio y carga muerta así como las acciones debidas a la temperatura y sobrecargas serán resistidas por cuatro apoyos de neopreno zunchado, dos en cada estribo. Por su parte, las acciones horizontales son absorbidas en los estribos donde se encuentran coartados los desplazamientos laterales.

Las características mecánicas del apoyo son:

El módulo de elasticidad transversal, G, que se toma de 1000 KN/m². No se considera el instantáneo ya que éste sólo se utiliza para las acciones del viento o sobrecarga, mientras que la deformación del tablero debido a temperatura, retracción y fluencia tiene un carácter permanente

Las solicitaciones necesarias para el dimensionamiento de los neoprenos son las cargas verticales máximas y mínimas, las fuerzas transmitidas a los apoyos, desplazamientos y giros en el eje longitudinal de la pasarela.

El dimensionamiento de los aparatos de apoyo se basa en la limitación de las tensiones tangenciales que se producen en el elastómero a nivel de la unión de la goma con el metal. Estas tensiones son debidas tanto a las fuerzas transmitidas a los aparatos como a los movimientos (desplazamientos y giros) que deben absorber.

Se deben cumplir una serie de limitaciones:

Limitaciones de la tensión tangencial:

1ª Comprobación: $\tau_{H1 \text{ total}} \leq 0.5 G$

2ª Comprobación: $\tau_{H \text{ total}} \leq 0.7 G$

3ª Comprobación $\tau = \tau_N + \tau_{H \text{ total}} + \tau_{\alpha \text{ total}} < 5G$

Limitaciones de la tensión media:

4ª Comprobación: $\sigma_m \leq 1500 \text{ t/m}^2$

Condición de no desplazamiento del apoyo de su posición inicial:

5ª Comprobación: $\sigma_m \geq 200 \text{ t/m}^2$

6ª Comprobación: $H \leq f * N$

Donde H es la fuerza horizontal concomitante con la carga vertical N

Además el coeficiente de rozamiento, f, $f = 0,10 + 6/\sigma_m$
vale:

Condición de estabilidad:

7ª Comprobación: $a/10 \leq T \leq a/5$

Condición de no levantamiento:

8ª Comprobación: $\alpha_{ta} = \alpha_T / n \leq 3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G$

$\alpha_{tb} = \alpha_T / n \leq 3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G$

Esta condición asegura que no se produzca separación entre el borde menos cargado del apoyo y el tablero

Espesor de los zunchos:

9ª Comprobación: $e \geq a / S * \sigma_m / \sigma_e$

$$e \geq 2 \text{ mm}$$

donde σ_e es el límite elástico del acero de los zunchos.

Para la obtención de las tensiones tangenciales para las comprobaciones anteriores se seguirá el siguiente procedimiento:

Cargas verticales:

Se tiene

$$\tau_N = \frac{1.5\sigma_m}{S} \quad \text{donde} \quad S = \frac{ab}{2t(a+b)} \quad \text{y} \quad \sigma_m = \frac{N}{ab}$$

N = carga vertical actuante sobre el apoyo.

S = factor de forma de la capa de elastómero considerada.

σ_m = tensión media.

Fuerzas y desplazamientos horizontales:

En el caso en el que se den simultáneamente las dos situaciones siguientes:

La deformación u_1 del apoyo es lenta y conocida. Por tanto:

$$\text{tg } \gamma_1 = \frac{u_1}{T} \quad \text{siendo } T \text{ el espesor total de elastómero.}$$

Se tendrá inmediatamente que:

$$\tau_{H1} = G \text{tg } \gamma_1 = G \frac{u_1}{T}$$

$$\text{y por lo tanto} \quad H_1 = ab \tau_{H1} = Gab \frac{u_1}{T}$$

Dado que transversalmente el movimiento está coartado en el estribo, no va a aparecer una fuerza H_2 . El apoyo está sometido a una fuerza horizontal instantánea H_2 . En este caso se supondrá el módulo de elasticidad transversal G instantáneo vale dos veces el módulo de elasticidad transversal G .

$$\tau_{H2} = 0 \quad \text{tg } \gamma_2 = 0 \quad \text{y} \quad \text{tg } \gamma_2 = 0$$

$$\text{luego} \quad u_2 = \frac{H_2}{2Gab} T = 0$$

Luego,

$$\tau_H = G \text{tg } \gamma = G \frac{u_1 + u_2}{T} = \tau_{H1}$$

es decir:

$$\tau_H = G \frac{u_1}{T}$$

Giros:

Cuando un zuncho gira con respecto a otro zuncho solidario con la misma capa de elastómero la tensión tangencial máxima es:

$$\tau_\alpha = \frac{G}{2} \left(\frac{a}{t} \right)^2 \alpha_i \quad \text{donde} \quad \alpha_i = \frac{\alpha_T}{n} \quad \text{siendo } \alpha_T \text{ el giro total que debe absorber el apoyo expresado en radianes.}$$

La rotación de un aparato de apoyo puede ser debida al funcionamiento de la estructura o también a un defecto de falta de paralelismo inicial entre el tablero y la pila o estribo.

El valor del momento de reacción M viene dado por:
$$M = G \frac{\alpha_T}{n} \frac{a^5 b}{t^3} \frac{1}{K_2}$$

Para tener en cuenta las posibles faltas de paralelismo entre el tablero y la pila o estribo se tomará $\alpha_T = \alpha_0 + \alpha$, donde α es la rotación obtenida en los cálculos, y para α_0 se tomará: $\alpha_0 = 10/1000rad$.

Los aparatos de apoyo se van a dimensionar para la combinación característica en servicio. En el caso de la temperatura, los aparatos de apoyo se dimensionan según la IAP-2011 para:

	Valores diseño neoprenos
$\Delta T, \text{max}$	49.28
$\Delta T, \text{min}$	-27.6

Otro de los fenómenos que contribuye a los desplazamientos de los apoyos es la retracción. Si suponemos una retracción desde el momento en el que la pasarela se coloca en los apoyos hasta tiempo infinito del 0.6 por mil podemos simular el acortamiento sufrido por la pasarela debido a la retracción de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} N &= EA\varepsilon \\ N &= EA\alpha\Delta T \end{aligned} \rightarrow \Delta T = \frac{\varepsilon}{\alpha}$$

Siendo $\varepsilon = 0.0003$ y $\alpha = 0.000011$

La retracción supone un acortamiento de la estructura con un axil ficticio que se puede considerar uniforme en cada una de las barras de valor

$$\Delta T = \frac{\varepsilon}{\alpha} = -27,27^\circ C$$

Se trata de un incremento de temperatura que provoca el acortamiento y por tanto lo podemos sumar a ΔT_{min} .

Por tanto, la acción de temperatura para la que se dimensionan los neoprenos resulta la siguiente:

	Valores diseño neoprenos
ΔT_{max} (°C)	49.28
ΔT_{min} (°C)	-54.9

El axil máximo se obtiene del peso propio y sobrecarga, mientras que el mínimo se obtiene de la combinación de peso propio y viento vertical sin la actuación de la sobrecarga.

Los cuatro neoprenos se dimensionan de la misma manera, de tal forma que se muestran las combinaciones más desfavorables según hipótesis de cálculo en el aparato de apoyo más desfavorable para cada situación.

La rigidez de los muelles inicial considerada ha sido

Rigidez vertical = 229900 KN/m

Rigidez transversal = 1081 KN/m

Las reacciones y desplazamiento en combinación característica se muestran en la siguiente tabla:

	Nmax	Nmin	Umax (mm)	Φ_{xmax} (mrad)
DEAD	161.8	159.11	3.3	1.1
CM	4.5	0	0	0
Δ PRET	0	0	2.7	0
SC	171.0	172.1	3.8	1.4
SC1	161.2	9.8	2.7	2.2
VH	54.4	-54.4	1.4	1.2
VV	-13.4	-37.5	0.7	0.4
TMAX	0	0	10.8	0.1

TMIN	0	0	-11.9	0.2
------	---	---	-------	-----

Combinación para axil máximo

	N	U (mm)	Φ (mrad)
DEAD	1	1	1
CM	1	1	1
Δ PRET	1	1	1
SC	1	1	1
SC1	0	0	0
VH	0.3	0.3	0.3
VV	-0.3	-0.3	-0.3
TMAX	0	0	0
TMIN	0	0	0
	Nmax/min (KN)	U(mm)	Φ_x (mrad)
	357,64/303.64	10.43	2.7

Combinación para axil mínimo

	N	U (mm)	Φ_x (mrad)
DEAD	1	1	1
CM	1	1	1
Δ PRET	1	1	1
SC	0	0	0
SC1	0	0	0
VH	1	1	1
VV	1	1	1
TMAX	0	0	0

TMIN	0	0	0
	Nmax/min(KN)	U (mm)	Φx(mrad)
	207.3/67.21	8.1	2.7

Combinación para desplazamiento máximo

	N	U(mm)	Φx (mrad)
DEAD	1	1	1
CM	1	1	1
ΔPRET	1	1	1
SC	0.3	0.3	0.3
SC1	0	0	0
VH	0	0	0
VV	0	0	0
TMAX	1	1	1
TMIN	0	0	0
	Nmax/min (KN)	U (mm)	Φx(mrad)
	217.6/210.74	15.24	1.62

El aparato de apoyo considerado ha sido el siguiente

200 x 250 x 4 (8 + 3) tipo A

La rigidez longitudinal de que introduce cada apoyo al movimiento horizontal es:

$$K = \frac{0.8 * 0.2 * 0.25}{0.037} = 1081 \text{ KN/m}$$

$$T = 4 * 8 + 5 = 37 \text{ mm}$$

HIPÓTESIS 1 (Axil máximo)

Nmax/min (KN)	U(mm)	Φ_x (mrad)
357,64/303.64	10.43	2.7

1ª Comprobación $\tau_{H1\ total} \leq 0.5 G = 0.5 \text{MPa}$ **Ok**

$$\tau_{H1\ total} = 0.28 \text{ MPa}$$

2ª Comprobación (No necesaria)

3ª Comprobación $\sigma_m \leq 15 \text{MPa}$ **Ok**

$$\sigma_m = 7.15 \text{ MPa}$$

4ª Comprobación $\sigma_m \geq 1 \text{MPa}$ **Ok**

5ª Comprobación $a/10 \leq T \leq a/5$ **Ok**

6ª Comprobación

$$\alpha_{ta} = \alpha_{\tau} / n \leq 3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G \quad \text{Ok}$$

$$\alpha_{ta} = 0,00051$$

$$3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G = 0,298$$

7ª Comprobación

$$\tau = \tau_N + \tau_{H\ total} + \tau_{\alpha\ total} < 5G = 4 \text{MPa} \quad \text{Ok}$$

$$\tau = 2.61 \text{ MPa}$$

8ª Comprobación

$$e \geq a / S * \sigma_m / \sigma_e \quad \text{Ok}$$

$$e \geq 2 \text{ mm} \quad \text{mm Ok}$$

$$a / S * \sigma_m / \sigma_e = 0,749$$

HIPÓTESIS 2 (Axil mínimo)

Nmax/min(KN)	U (mm)	Φ_x (mrad)
207.3/67.21	8.1	2.7

1ª Comprobación $\tau_{H1\ total} \leq 0.5 G = 0.5 \text{MPa}$ **Ok**

$$\tau_{H1\ total} = 0.18 \text{ MPa}$$

2ª Comprobación (No necesaria)

3ª Comprobación $\sigma_m \leq 15 \text{ MPa}$ **Ok**

$$\sigma_m = 4.14 \text{ MPa}$$

4ª Comprobación $\sigma_m \geq 1 \text{ MPa}$ **Ok**

$$\sigma_m = 1.34 \text{ MPa}$$

5ª Comprobación $a/10 \leq T \leq a/5$ **Ok**

6ª Comprobación

$\alpha_{ta} = \alpha_{\tau} / n \leq 3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G$ **Ok**

$$\alpha_{ta} = 0,00051$$

$$3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G = 0,173$$

7ª Comprobación

$\tau = \tau_N + \tau_{H \text{ total}} + \tau_{\alpha \text{ total}} < 5G = 4 \text{ MPa}$ **Ok**

$$\tau = 1.67 \text{ MPa}$$

8ª Comprobación

$e \geq a / S * \sigma_m / \sigma_e$ **Ok**

$e \geq 2 \text{ mm}$ **mm Ok**

$$a / S * \sigma_m / \sigma_e = 0,434$$

HIPÓTESIS 3 (Desplazamiento máximo)

Nmax/min (KN)	U (mm)	Φ_x (mrad)
217.6/210.74	15.24	1.62

1ª Comprobación $\tau_{H1 \text{ total}} \leq 0.5 G = 0.5 \text{ MPa}$ **Ok**

$$\tau_{H1 \text{ total}} = 0.41 \text{ MPa}$$

2ª Comprobación (No necesaria)

3ª Comprobación $\sigma_m \leq 15 \text{ MPa}$ **Ok**

$$\sigma_m = 6.74 \text{ MPa}$$

4ª Comprobación $\sigma_m \geq 1 \text{ MPa}$ **Ok**

5ª Comprobación $a/10 \leq T \leq a/5$ **Ok**

6ª Comprobación

$$\alpha_{ta} = \alpha_r / n \leq 3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G \quad \text{Ok}$$

$$\alpha_{ta} = 0,0005$$

$$3 / S * t^2 / a^2 * \sigma_m / G = 0,281$$

7ª Comprobación

$$\tau = \tau_N + \tau_{H \text{ total}} + \tau_{\alpha \text{ total}} < 5G = 4\text{MPa} \quad \text{Ok}$$

$$\tau = 2.64 \text{ MPa}$$

8ª Comprobación

$$e \geq a / S * \sigma_m / \sigma_e \quad \text{Ok}$$

$$e \geq 2 \text{ mm} \quad \text{mm Ok}$$

$$a / S * \sigma_m / \sigma_e = 0,706$$

Valencia, Marzo 2012

Los autores del Proyecto

Fdo: Pedro Serna Ros	Fdo: Juan Ángel López Martínez
Fdo: Juan Navarro Gregori	Fdo: Esteban Camacho Torregrosa