

# ANEXO

## ANEXO

### **PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN MATERIAL**

A lo largo del proyecto se han utilizado numerosos materiales dependiendo del elemento de la pasarela. A continuación se especificarán cada uno de ellos, así como una captura del programa RFEM con sus características.

- HORMIGÓN HA-30

Ha sido utilizado tanto para el caso de la pylona como para el tablero de la pasarela. Se caracteriza por tener una resistencia a compresión de 30 MPa. Además, cuenta con las siguientes características:

Constantes del material	
Módulo de elasticidad	E : 33000.0 [MPa]
Módulo de cortante	G : 13750.0 [MPa]
Coefficiente de Poisson	$\nu$ : 0.200 [-]
Peso específico	$\gamma$ : 25.00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$ : 1.0000E-05 [1/°C]
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_M$ : 1.00 [-]

FIGURA 49. PROPIEDADES HORMIGÓN HA-30

Las armaduras de estos dos elementos serán calculadas y descritas posteriormente tras haber obtenido en las combinaciones de ELU y ELS el caso más desfavorable y por lo tanto, el momento necesario para llevar a cabo dicho cálculo.

- NEOPRENO ZUNCHADO

Utilizado en este caso como apoyo inferior del tablero en los puntos que está la pasarela en contacto con el terreno. A través de él se busca reducir el efecto de la temperatura en los apoyos de la pasarela. Se ha definido manualmente, asignándole los siguientes valores característicos:

Constantes del material	
Módulo de elasticidad	E : 17.4 [MPa]
Módulo de cortante	G : 5.8 [MPa]
Coefficiente de Poisson	$\nu$ : 0.500 [-]
Peso específico	$\gamma$ : 15.00 [kN/m <sup>3</sup> ]
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$ : 6.0000E-04 [1/°C]
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_M$ : 1.00 [-]

FIGURA 50. PROPIEDADES NEOPRENO ZUNCHADO

- ACERO DE ALTA RESISTENCIA ST 1080/1230

Material utilizado para los cables que sustentan el tablero y también para los que sirven de compensación para la pila. Caracterizado por su límite elástico de 1080 MPa.

Constantes del material	
Módulo de elasticidad	E : 205000.0 [MPa]
Módulo de cortante	G : 78846.2 [MPa]
Coefficiente de Poisson	$\nu$ : 0.300 [-]
Peso específico	$\gamma$ : 78.50 [kN/m <sup>3</sup> ]
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$ : 1.0000E-05 [1/°C]
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_M$ : 1.00 [-]

FIGURA 51. PROPIEDADES ACERO S-355

- ACERO S-355

Utilizado para el resto de elementos metálicos que en este caso serían el cajón del tablero y los apoyos colocados sobre los de neopreno zunchado que nivelan la pendiente del cajón, consiguiendo un apoyo plano y estable sobre el terreno. Dicho material se caracteriza por su límite elástico de 355 MPa. A continuación se muestran algunas de sus características:

Constantes del material	
Módulo de elasticidad	E : 210000.0 [MPa]
Módulo de cortante	G : 80769.2 [MPa]
Coefficiente de Poisson	$\nu$ : 0.300 [-]
Peso específico	$\gamma$ : 78.50 [kN/m <sup>3</sup> ]
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha$ : 1.2000E-05 [1/°C]
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_M$ : 1.00 [-]

FIGURA 52. PROPIEDADES ACERO S-355

### **PARÁMETROS DE LA MALLA**

Tras definir la geometría del sistema y previo al cálculo se debe proceder al mallado de la estructura. Como se ha mencionado anteriormente, la malla tendrá una gran influencia en la precisión de los cálculos posteriores por lo que se debe prestar atención a ello aunque cuanto mayor sea la precisión buscada, el tiempo de cálculo también aumentará. A continuación se van a mostrar los valores asignados a cada uno de los parámetros significativos:

- Longitud de destino de los elementos finitos ( $l_{EF}$ ): 0.4 metros
- Distancia máxima entre un nudo y una línea para integrarla dentro de una línea ( $\xi$ ): 0.001 metros
- Número máximo de nudos de malla (en miles): 1000
- Número de divisiones para tipos especiales de barras ((cable, apoyo elástico, sección variable, no linealidad): 10
- Razón máxima de diagonales de elementos finitos con forma rectangular ( $\Delta_D$ ): 1.8
- Inclinación máxima fuera del plano de un elemento cuadrangular simple ( $\alpha$ ):  $0.5^\circ$
- Forma de elementos finitos: triangulares y cuadrangulares. Siempre que se pueda se establecerán formas cuadrangulares aunque en las zonas con un mallado más complejo se alternarán con formas triangulares. De esta forma se intenta obtener un mallado fino.
- Refinamiento de malla de EF en sólidos que contengan nudos próximos. Número máximo de elementos (en miles): 1000

Finalmente la malla está compuesta por un total de 116 elementos finitos 1D (elementos en barra), 33710 elementos finitos 2D (elementos en superficie) y 121638 elementos finitos 3D (elementos macizos). Con todo ello se obtiene un total de 42584 nudos de malla de EF.

A continuación se procede a mostrar el cuadro diálogo con todas estas características en el programa RFEM:

## DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

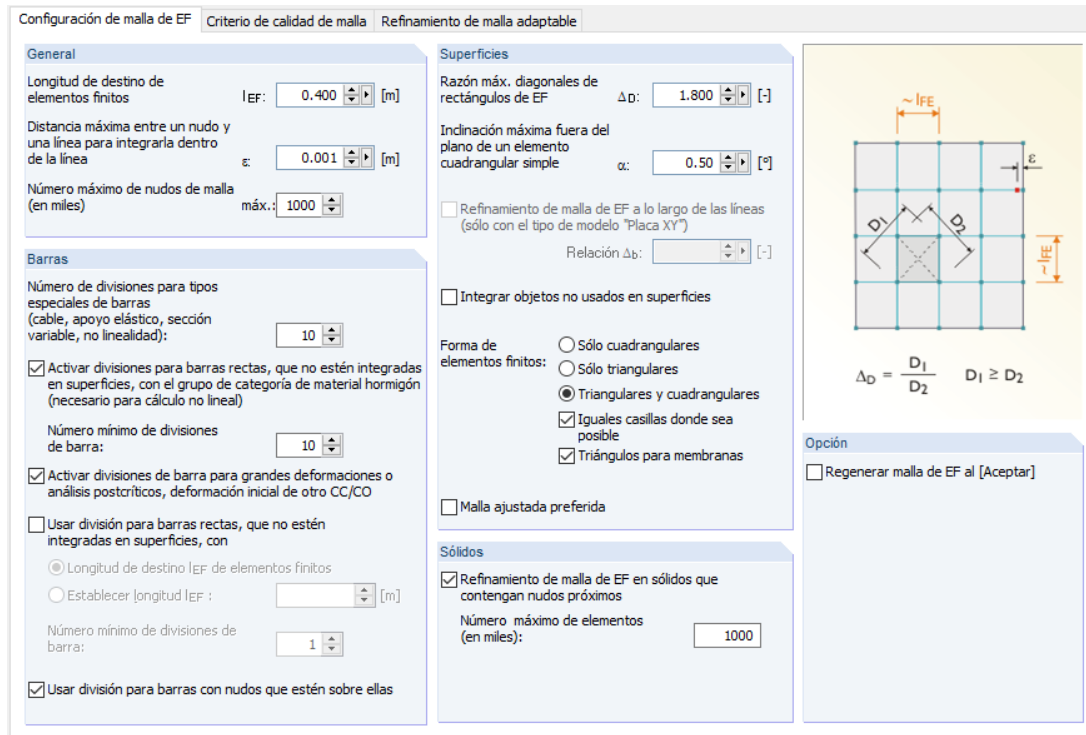


FIGURA 53. PROPIEDADES DE LA MALLA EN RFEM

Además, el programa RFEM permite mostrar la calidad de la malla en el modelo, lo cual ayuda a modificar la malla si fuese necesario hasta obtener una definición en la que apenas se encuentren elementos con alerta.

En este caso, la precisión es prácticamente perfecta, obteniendo una calidad de malla en la que el 99.92% de los elementos son correctos y únicamente el 0.08 % de ellos están en alerta. Analizando estos resultados se observa que las zonas en las que se muestra la alarma son los puntos más conflictivos de la estructura; puntos de anclaje de los cables, punto de apoyo, rigidizadores..

En la siguiente imagen se mostrarán una captura del modelo con la calidad de malla obtenida y alguno de las zonas conflictivas mencionadas.

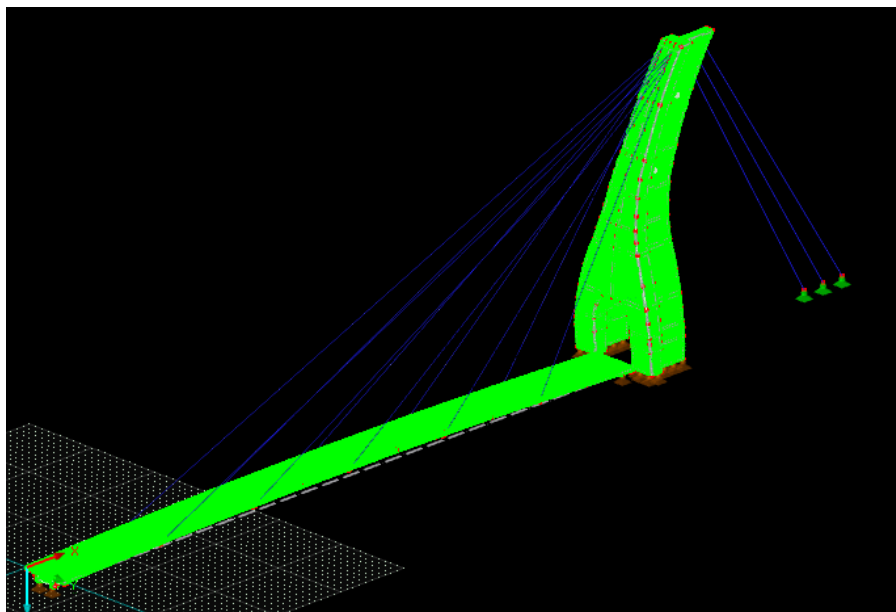


FIGURA 54. CALIDAD DE LA MALLA

En la figura 53 se pueden observar las zonas conflictivas comentadas previamente.

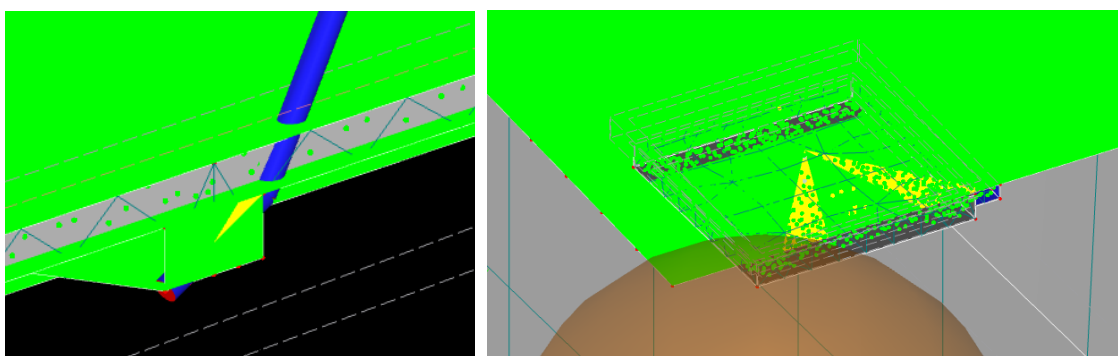


FIGURA 55. ZONAS CON ALERTA DENTRO DE LA PROPIA MALLA

### **MÉTODO DE CÁLCULO**

En el proyecto se ha optado por calcular y obtener los resultados a través del método iterativo de cálculo. Este método pretende resolver el problema mediante aproximaciones sucesivas a la solución, empezando desde una estimación inicial. Se utiliza ya que se trata de un sistema con un número grande de variables, donde por el contrario sería muy complejo realizar por un método directo resolutorio. El inconveniente de este método es el tiempo de resolución debido al gran número de ecuaciones a realizar en cada iteración y la cantidad de iteraciones necesarias hasta obtener el resultado. Como se ha mencionado en otros apartados, la precisión de la malla también influye en este proceso por lo que para un cálculo “rápido” se opta por una malla no muy fina, reduciendo así también el número de iteraciones necesarias. Finalmente, se puede afinar la malla y realizar de nuevo el cálculo para obtener los resultados más precisos.

### **OBTENCIÓN DE LOS VALORES DE CARGA**

Las cargas que serán analizadas en el proyecto serán las mencionadas previamente; peso propio, sobrecarga de uso, viento, nieve y temperatura. En este apartado se van a justificar la obtención de éstas antes de ser implementadas en el cálculo.

- PESO PROPIO

Se trata de la carga producida por los elementos constructivos. Como se ha definido anteriormente, los materiales utilizados han sido; acero, hormigón armado y neopreno. Por ello, de acuerdo con la siguiente tabla de la IAP-11, se observan sus respectivos pesos específicos ( $\text{kN/m}^3$ ).

Acero	78,5
Hormigón armado y pretensado	25,0
Material elastomérico	15,0

Como se puede observar en la siguiente imagen, en el programa RFEM se ha introducido como una carga uniforme. Se adjunta a su vez una captura de la ventana gráfica en la que se puede observar el valor impuesto para el caso del tablero de la pasarela.

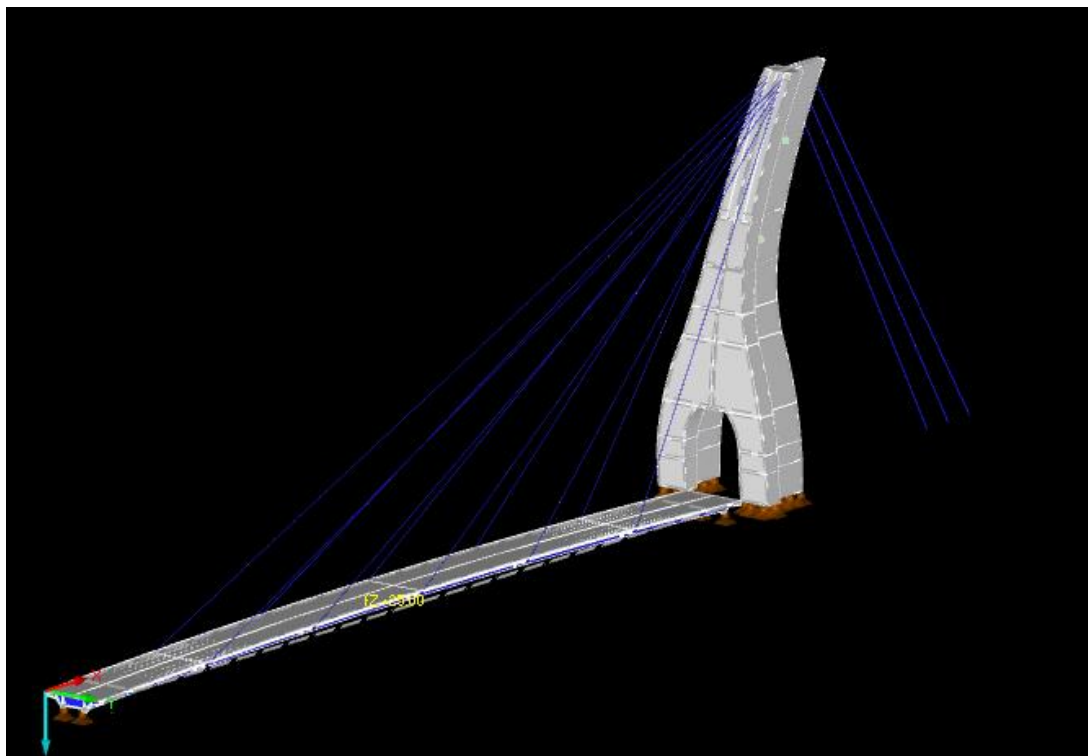


FIGURA 56. EJEMPLO COLOCACIÓN PESO PROPIO HORMIGÓN

## DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

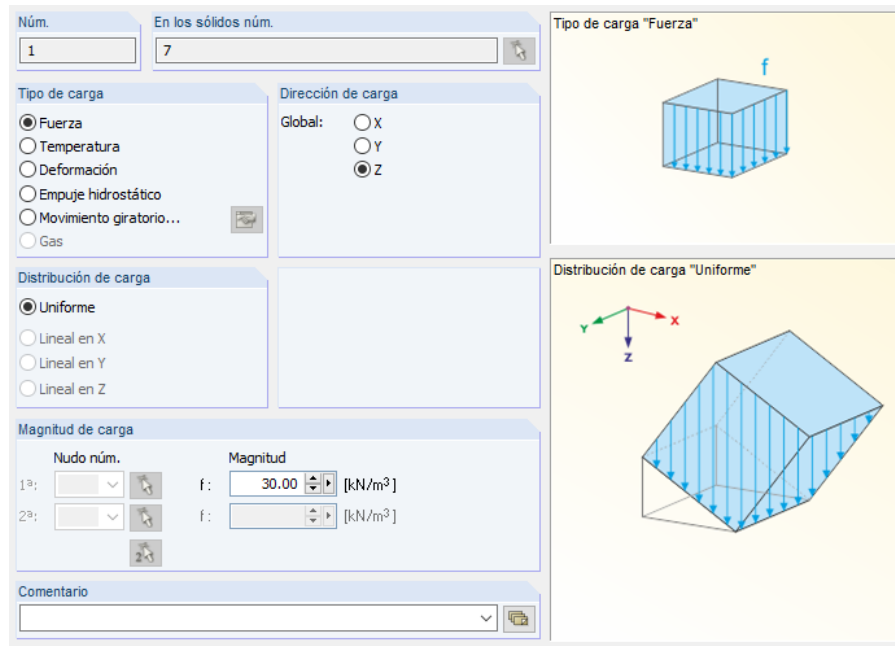


FIGURA 57. INTRODUCCIÓN PESO PROPIO EN RFEM

- SOBRECARGA DE USO

La sobrecarga de uso es como se ha mencionado, el peso de todos los objetos que pueden gravitar sobre la pasarela por su razón de uso.

Analizando la norma IAP-11, se observa que en base al objeto de este proyecto se deben considerar una carga vertical distribuida uniformemente sobre el tablero de  $5 \text{ kN/m}^2$ .

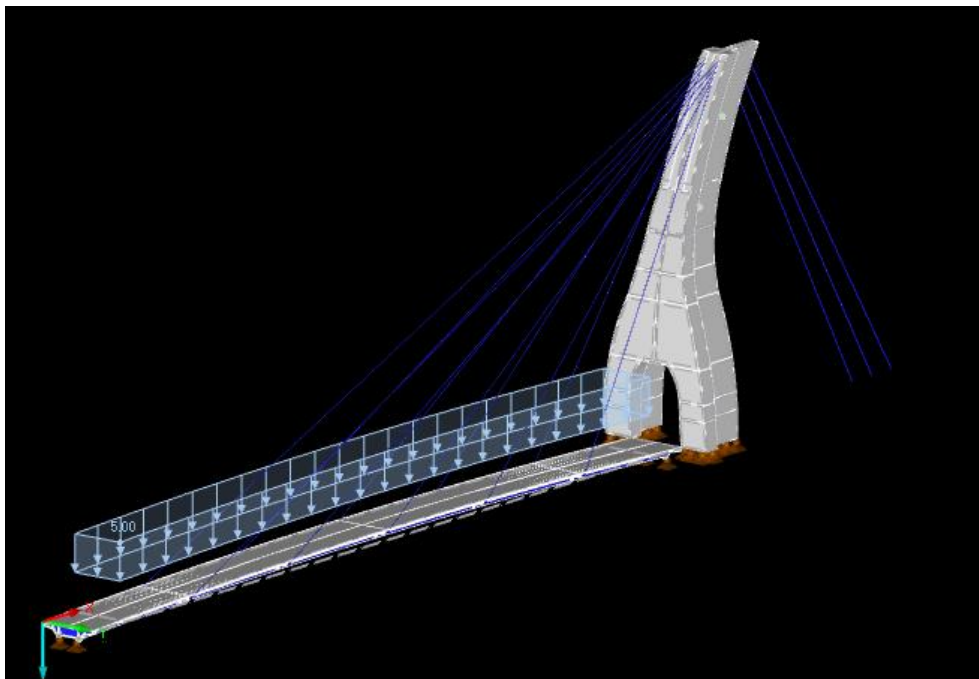


FIGURA 58. SOBRECARGA DE USO EN LA PASARELA COMPLETA



Debido a la morfología de la pasarela, se van a analizar los comportamientos de está al distribuir la sobrecarga de uso en distintas posiciones del tablero. Se divide el tablero por la mitad longitudinalmente y transversalmente. De esta forma, se busca comprobar la estabilidad y funcionamiento de la pasarela con todo tipo de esfuerzos, buscando a su vez generar esfuerzos de torsión con la colocación alterna de las cargas como se mostrará a continuación.

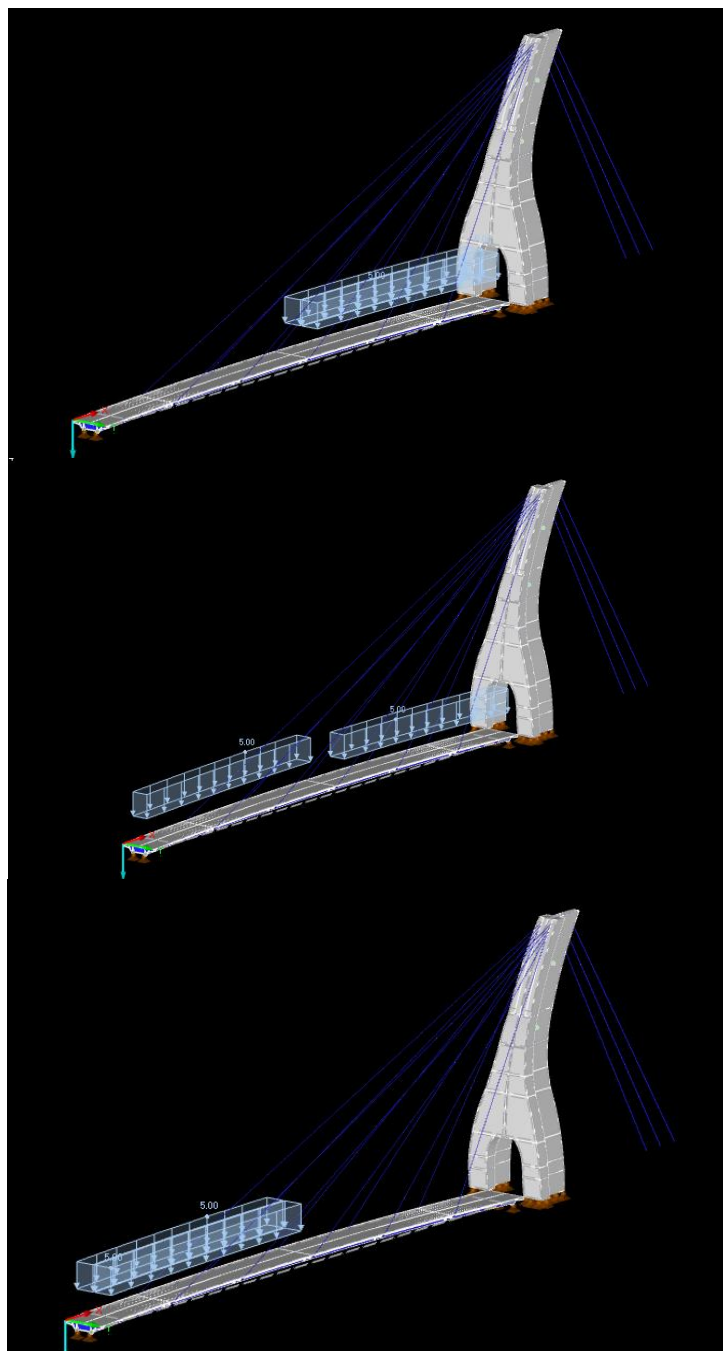


FIGURA 59. COMBINACIONES SOBRECARGA DE USO

## DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

Como se ha mencionado, se deberá tener en cuenta a su vez las acciones de las barandillas por lo que se coloca una carga lineal de 2kN/m en los laterales del tablero simulando la carga ejercida por éstas. Se adjuntan capturas del modelo con ésta carga y como ha sido introducida en el programa.



FIGURA 60. CARGA LINEAL EJERCIDA POR LAS BARANDILLAS

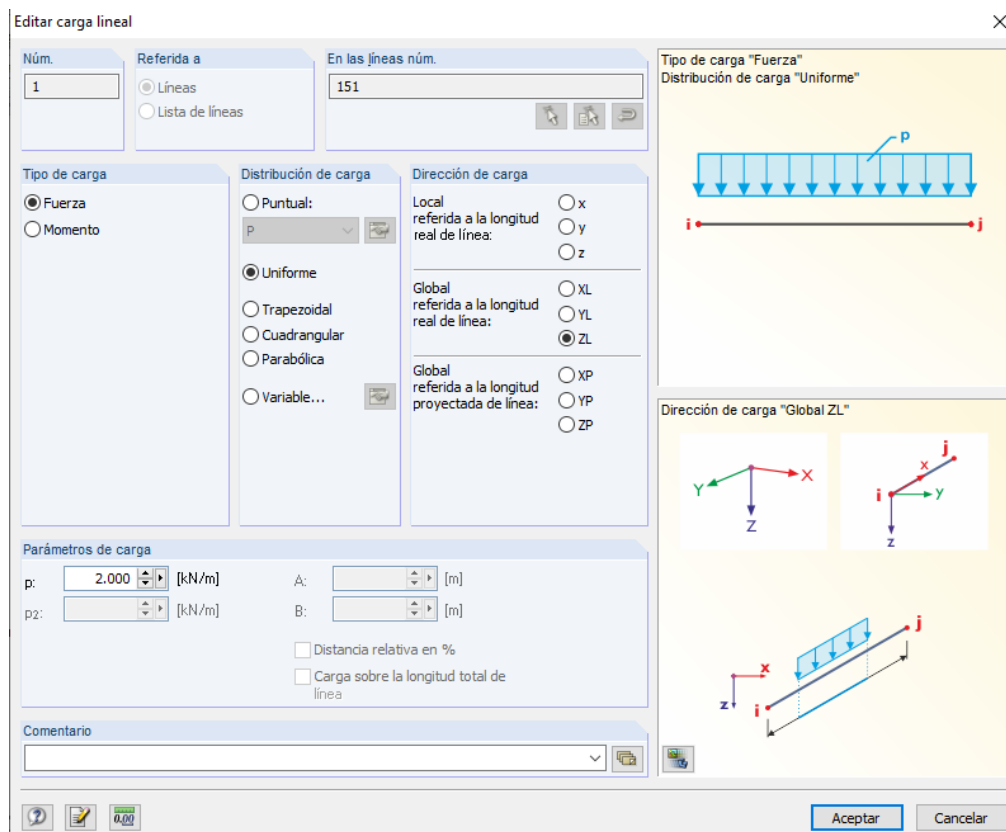


FIGURA 61. INTRODUCCIÓN DE LA CARGA EJERCIDA POR LAS BARANDILLAS EN RFEM

## DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

- VIENTO

En general, la acción del viento se asimilará a una carga estática equivalente según el apartado 4.2 de la IAP-11. En el siguiente apartado, se detallan las expresiones y coeficientes a considerar para la obtención de la velocidad básica del viento. Se considera la velocidad básica fundamental del viento ( $v_{b,0}$ ) como la velocidad media a lo largo de un periodo de 10 minutos, con un periodo de retorno  $T$  de 50 años, medida con independencia del viento y de la época del año en una zona plana y desprotegida frente al viento, equivalente a un entorno de puente tipo II, a una altura de 10m sobre el suelo. A partir de ésta velocidad básica fundamental del viento se podrá obtener la velocidad básica  $v_b$ .

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

Por lo tanto tomando:

- $C_{dir} = 1$
- $C_{season} = 1$
- $v_{b,0} = 27 \text{ m/s}$   
(obtenido por el emplazamiento elegido para la pasarela)



FIGURA 62. MAPA VELOCIDAD BÁSICA

Una vez obtenida la velocidad básica del viento, se procederá a calcular la velocidad media del viento a una altura  $z$  sobre el terreno. A su vez dependerá además de la rugosidad del terreno y de la topografía. Por lo tanto, se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$V_m(z) = c_r(z) c_o v_b(T)$$

Siendo:

$C_r$ : factor de rugosidad obtenido de la siguiente fórmula:

$$C_r(z) = k_r \ln(z/z_0) \text{ para } z \geq z_{\min}$$

Siendo a su vez:

$Z$ : altura del punto de aplicación del empuje de viento respecto del terreno o respecto del nivel mínimo del agua bajo el puente (m).

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

---

$K_r$  : factor de terreno según la tabla adjuntada a continuación.

$Z_0$  : longitud de la rugosidad según la tabla adjuntada a continuación.

$Z_{min}$ : altura mínima según la tabla adjuntada a continuación.

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

FIGURA 63. TABLA VALORES CARACTERÍSTICOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ENTORNO

Previamente a seleccionar los valores mencionados será necesario determinar el tipo de entorno en relación a la ubicación seleccionada. Se selecciona un tipo III (zona suburbana, forestal o industrial con construcciones y obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos).

Con todo esto se puede obtener por lo tanto el factor de rugosidad:

$$C_r(z) = k_r \ln(z/z_0) = 0,216 * \ln(6/0,3) = 0,647$$

Tomando el factor de topografía como 1, se obtiene que la velocidad media es:

$$V_m(z) = c_r(z) c_o v_b(T) = 0,647 * 1 * 27 \text{ m/s} = 17,47 \text{ m/s}$$

Para el cálculo será necesario introducir la acción como presión por lo que, la presión básica de cálculo será:

$$P_{bas} = 455,625 \text{ N/m}^2$$

A continuación se deberá calcular el coeficiente de exposición en función de la altura  $z$  a través de la siguiente fórmula:

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

En este caso  $C_e = 1,397$  por lo que la presión de cálculo será:

$$P_{cal} = P_{bas} * C_e = 455,625 * 1,397 = 636,55 \text{ N/m}^2$$

En relación con ello, la velocidad de cálculo será de 31,91 m/s (114,9 km/h).

Una vez obtenida la presión de cálculo se deberán analizar las distintas partes de la estructura en las que se deberán de tener en cuenta la acción del viento. En este caso se analizan el tablero, los cables del tablero, los cables de compensación y las barandillas.

- Tablero

En el apartado 4.2.5.1.1 se establece el empuje horizontal en tableros de alma llena, en los cuales se incluyen los tableros de alma llena de tipo cajón, las losas o los tableros de vigas. Para calcular la presión efectiva deberá calcularse previamente el coeficiente de fuerza en dirección X.

$$C_f = 2.5 - 0.3 * (B/heq) = 2.5 - 0.3 * (6/1.016) = 0.728$$

Por lo tanto, la presión efectiva a colocar en ambos lados del cajón y tablero será:

$$P_{efectiva} = 0.728 * 636.55 = 231.81 \text{ N/m}^2$$

- Cables

Se deberá diferenciar entre los cables que soportan el tablero y aquellos que sirven de compensación de la estructura debido a que son de distinto diámetro. La forma de calcularla será idéntica en ambos casos y vendrá determinada por la misma fórmula utilizada en el tablero.

En relación al coeficiente de fuerza, según la siguiente tabla de la IAP-11, tendrá un valor de  $C_f = 1.3$

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

FIGURA 64. COEFICIENTES DE FUERZA EN FUNCIÓN DE LA GEOMETRÍA

Por lo tanto:

- Cables tablero -> Carga =  $1.3 * 0.08 \text{ m} * 636.55 \text{ N/m}^2 = 66.2 \text{ N/m}$
- Cables compensación -> Carga =  $1.3 * 0.12 \text{ m} * 636.55 \text{ N/m}^2 = 99.3 \text{ N/m}$
- Barandillas

En el caso de las barandillas, el coeficiente de fuerza será el mismo utilizado en los cables al tener el mismo tipo de sección, circular. En este caso, la barandilla se compone de un pasamanos con un diámetro de 120 mm y 4 tubos inferiores de diámetro 50 mm. Es por ello por lo que habrá que calcular la carga ejercida en cada uno de los tubos para obtener la carga total. Se obtienen los siguientes resultados:

- Pasamanos -> Carga =  $1.3 * 0.12 \text{ m} * 636.55 \text{ N/m}^2 = 99.3 \text{ N/m}$
- Tubos inferior-> Carga =  $1.3 * 0.05 \text{ m} * 636.55 \text{ N/m}^2 = 41.375 \text{ N/m}$
- Carga total =  $99.3 \text{ N/m} + 4 * 41.375 \text{ N/m} = 264.8 \text{ N/m}$

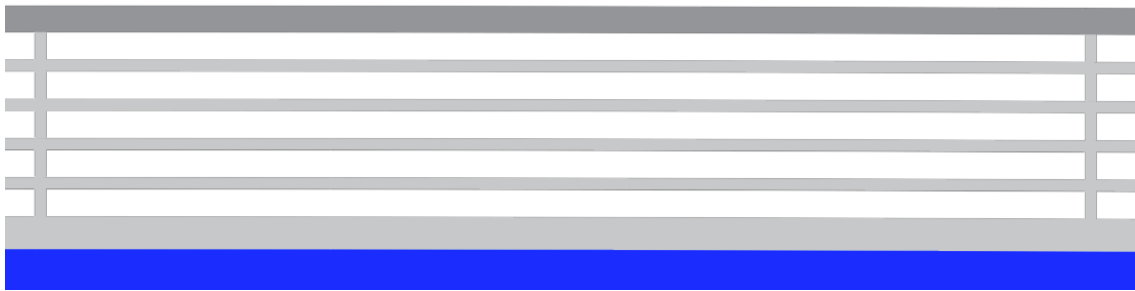


FIGURA 65. BARANDILLAS LATERALES

- NIEVE

Si se tuviese en cuenta la sobrecarga de nieve y la ubicación de la pasarela peatonal fuese finalmente Zaragoza, que se encuentra a unos 210 metros de altitud, la carga de nieve a considerar sería:

$$q_k = 0.5 \text{ kN/m}^2 * 0.8 = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

- TEMPERATURA

Otro factor que se podría considerar como acción en el cálculo sería el de la temperatura. Al igual que en la temperatura, teniendo en cuenta la ubicación, se obtienen una temperatura mínima y máxima de  $-13^\circ\text{C}$  y  $47^\circ\text{C}$  respectivamente.

Debido a que el tablero es mixto, de hormigón y acero, las temperaturas mínimas y máximas efectivas son:

$$T_{e,m\acute{a}x} = 47 + 4 = 53^\circ\text{C}$$

$$T_{e,min} = -13 + 4 = 17^{\circ}\text{C}$$

Para una temperatura inicial de  $15^{\circ}\text{C}$ , las diferencias de temperatura para dilatación y contracción son:

$$\Delta T_{N,exp} = 53 - 15 = 38^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,con} = 53 - 15 = 26^{\circ}\text{C}$$

- PRETENSADO

Uno de los efectos previos a tener en cuenta es el pretensado en los cables. Es una acción que tiene como finalidad la sustentación de la pasarela al mismo tiempo que se impide que el desplazamiento del punto central del vano, no supere el límite establecido sobre la norma. En este proyecto ha sido uno de los puntos clave ya que el pretensado de los cables se ha tenido que ir ajustando conforme se procedía al cálculo hasta obtener los resultados deseados. Se muestra a continuación como se ha introducido el pretensado en el programa y los esfuerzos colocados finalmente en cada uno de los cables.

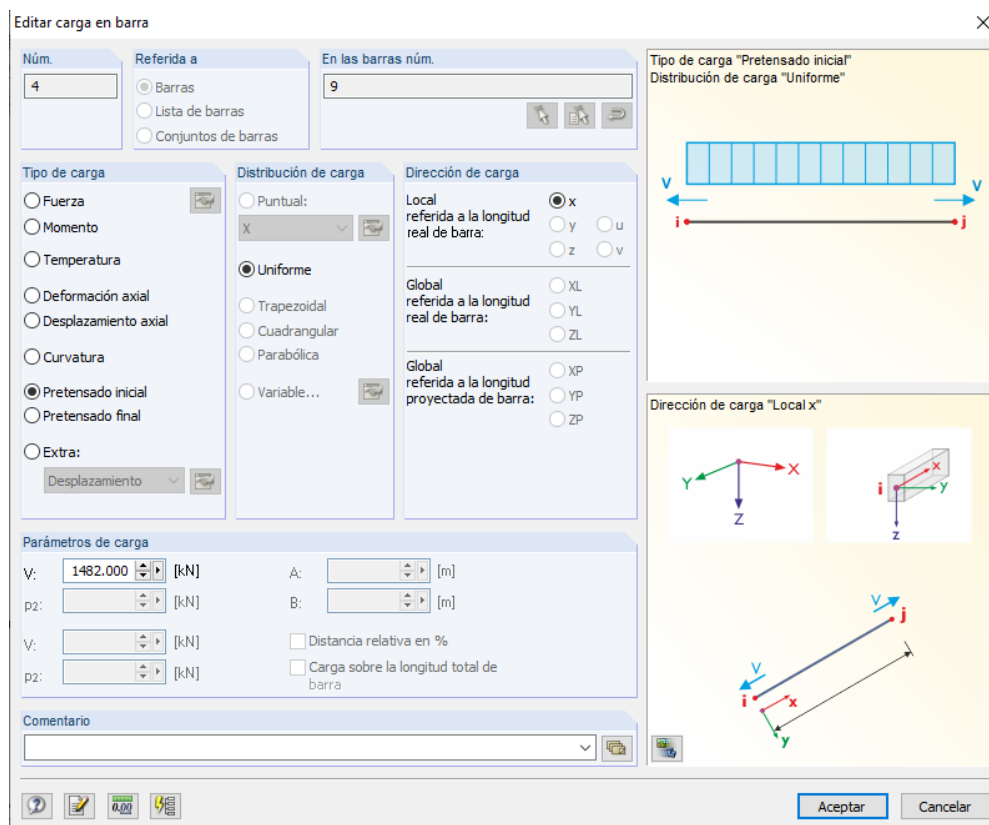


FIGURA 66. INTRODUCCIÓN PRETENSADO EN LOS CABLES

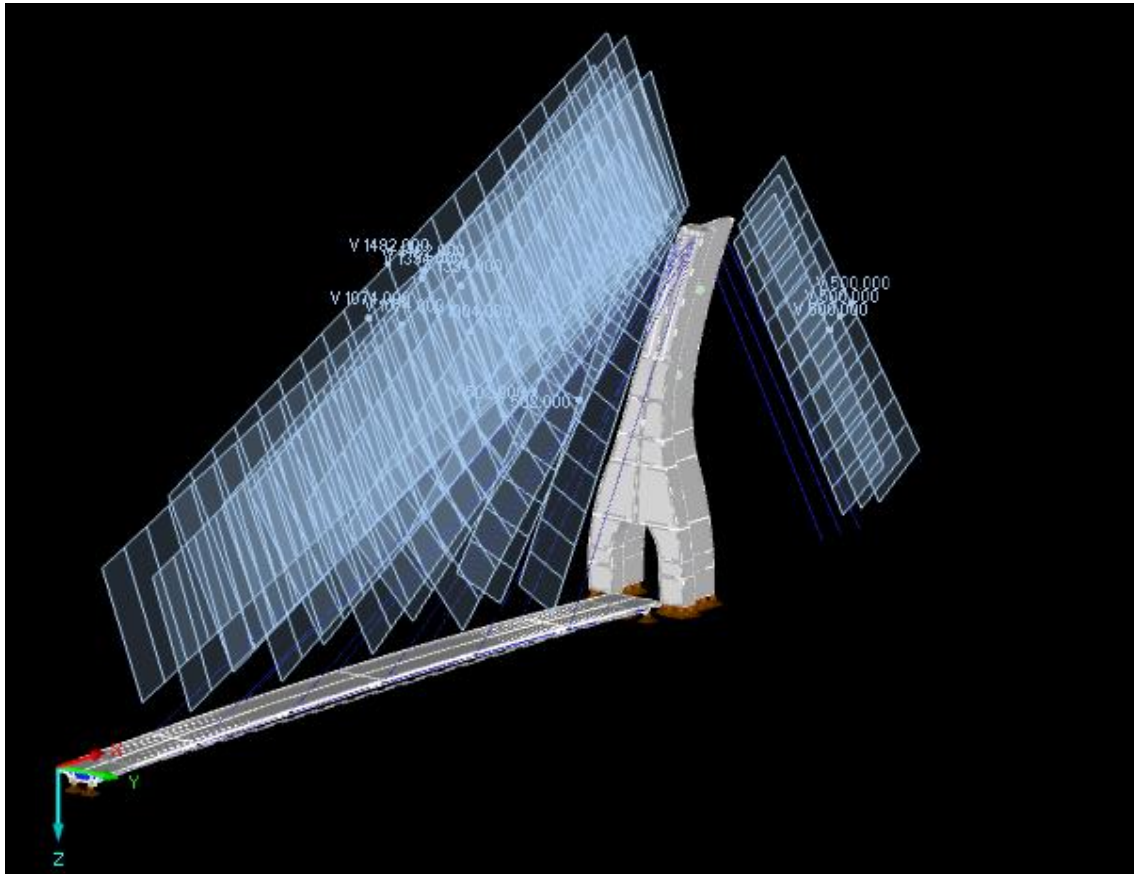


FIGURA 67. CARGAS DE PRETENSADO EN LOS CABLES



**COEFICIENTES Y EXPRESIONES PARA COMBINAR ACCIONES**

En este apartado se van a detallar los coeficientes tomados para mayorar y minorar las acciones así como las ecuaciones matemáticas que sirven para combinarlas y obtener el caso más desfavorable a partir del cual se realizan las comprobaciones pertinentes en base a la norma.

En las tablas mostradas a continuación se expresan los coeficientes de simultaneidad, es decir, acciones concomitantes.

ACCIÓN		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	
Sobrecarga de uso	Vehículos pesados	0,75	0,75	0	
	gr 1, Cargas verticales	Sobrecarga uniforme	0,4	0,4	0 / 0,2 <sup>(1)</sup>
		Carga en aceras	0,4	0,4	0
	gr 2, Fuerzas horizontales	0	0	0	
	gr 3, Peatones	0	0	0	
	gr 4, Aglomeraciones	0	0	0	
	Sobrecarga de uso en pasarelas	0,4	0,4	0	
Viento	$F_{wk}$	En situación persistente	0,6	0,2	0
		En construcción	0,8	0	0
		En pasarelas	0,3	0,2	0
Acción térmica	$T_k$	0,6	0,6	0,5	
Nieve	$Q_{Sn,k}$	0,8	0	0	
Acción del agua	$W_k$	Empuje hidrostático	1,0	1,0	1,0
		Empuje hidrodinámico	1,0	1,0	1,0
Sobrecargas de construcción	$Q_c$	1,0	0	1,0	

(1) El factor de simultaneidad  $\psi_2$  correspondiente a la sobrecarga uniforme se tomará igual a 0, salvo en el caso de la combinación de acciones en situación sísmica (apartado 6.3.1.3), para la cual se tomará igual a 0,2.

FIGURA 68. COEFICIENTES DE SIMULTANEIDAD

Además de ello se deberá tener en cuenta los coeficientes parciales aplicados para todas las cargas en ELU y ELS. Se mostrarán a su vez las expresiones que combinan en valor persistente para ELU y en valor frecuente para ELS.

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

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 <sub>1</sub>	1,0	1,0 / 1,2 <sup>(1)</sup> / 1,3 <sup>(2)</sup>
	Pretensado P <sub>2</sub>	1,0	1,35
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,35
	Empuje del terreno	1,0	1,5
	Asientos	0	1,2 / 1,35 <sup>(3)</sup>
	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,35
Variable (Q)	Sobrecarga de uso	0	1,35
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,5
	Acciones climáticas	0	1,5
	Empuje hidrostático	0	1,5
	Empuje hidrodinámico	0	1,5
	Sobrecargas de construcción	0	1,35

(1) El coeficiente  $\gamma_{G^*} = 1,2$  será de aplicación al pretensado P<sub>1</sub> 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 tasar.

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

(3) El coeficiente  $\gamma_{G^*} = 1,35$  corresponde a una evaluación de los efectos de los asientos mediante un cálculo elasto-plástico, mientras que el valor  $\gamma_{G^*} = 1,2$  corresponde a un cálculo elástico de esfuerzos.

FIGURA 69. COEFICIENTES ELU

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

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

ELS

ACCIÓN		EFECTO	
		FAVORABLE	DESFAVORABLE
Permanente de valor constante (G)	Peso propio	1,0	1,0
	Carga muerta	1,0	1,0
Permanente de valor no constante (G')	Pretensado P <sub>1</sub>	0,9 <sup>(1)</sup>	1,1 <sup>(1)</sup>
	Pretensado P <sub>2</sub>	1,0	1,0
	Otras presolicitaciones	1,0	1,0
	Reológicas	1,0	1,0
	Empuje del terreno	1,0	1,0
	Asientos	0	1,0
Variable (Q)	Rozamiento de apoyos deslizantes	1,0	1,0
	Sobrecarga de uso	0	1,0
	Sobrecarga de uso en terraplenes	0	1,0
	Acciones climáticas	0	1,0
	Empuje hidrostático	0	1,0
	Empuje hidrodinámico	0	1,0
	Sobrecargas de construcción	0	1,0

(1) Para la acción del pretensado se tomarán los coeficientes que indique la EHE-08 o normativa que la sustituya. En la tabla figuran los valores que la EHE-08 recoge para el caso de estructuras postesas. En el caso de estructuras pretesas, los coeficientes parciales son 0,95 y 1,05 para efecto favorable y desfavorable, respectivamente.

FIGURA 70. COEFICIENTES ELS

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

**DEFORMADAS**

En las siguientes imágenes se van a adjuntar las deformadas para las distintas combinaciones.

- ELS 1

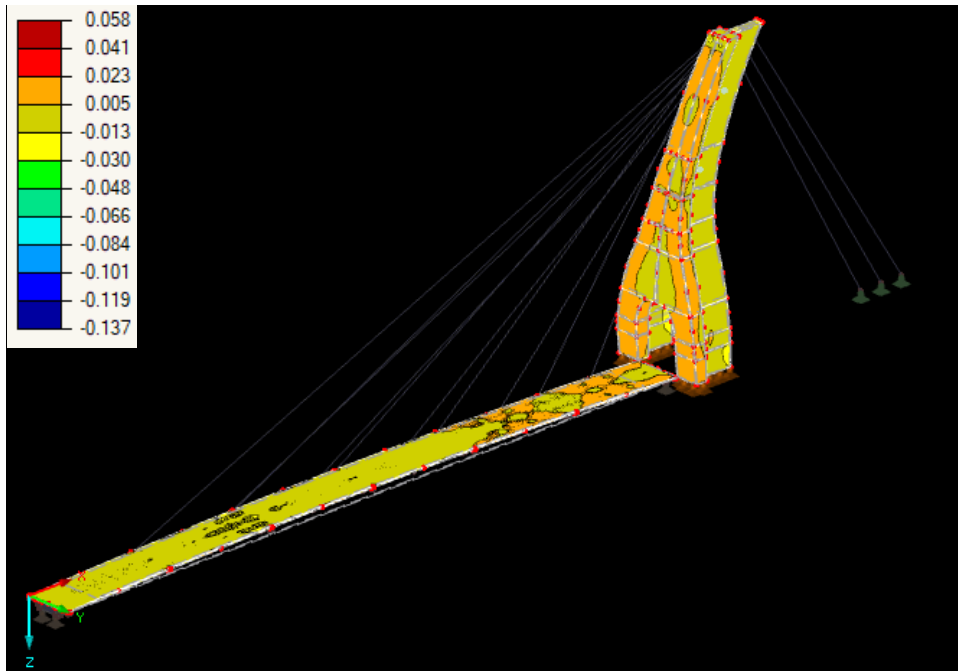


FIGURA 71. DEFORMADA ELS 1

- ELS 2

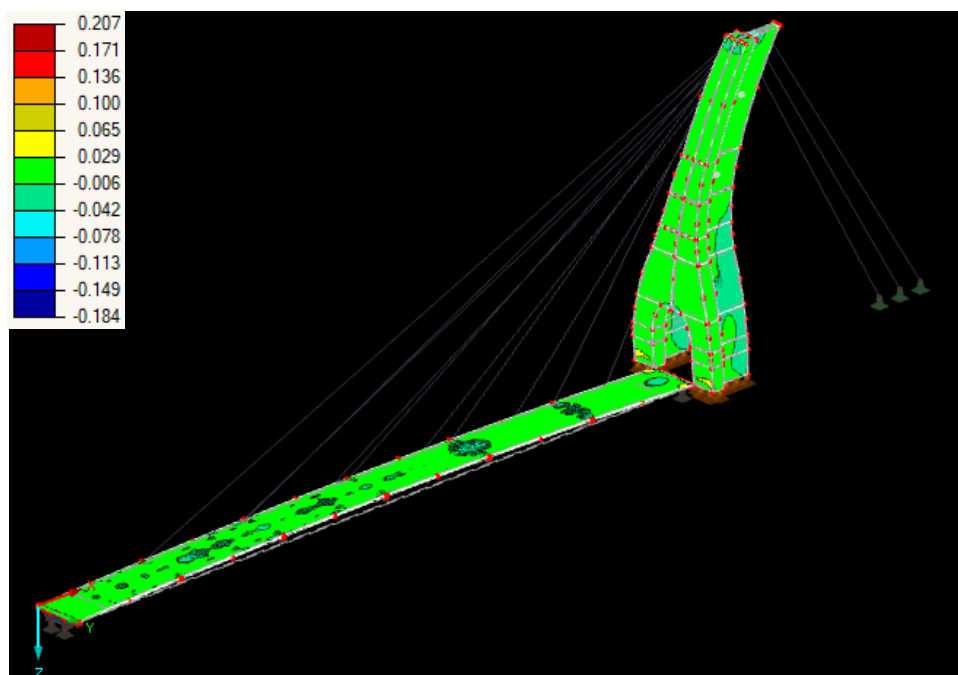


FIGURA 72. DEFORMADA ELS 2

- ELS 3

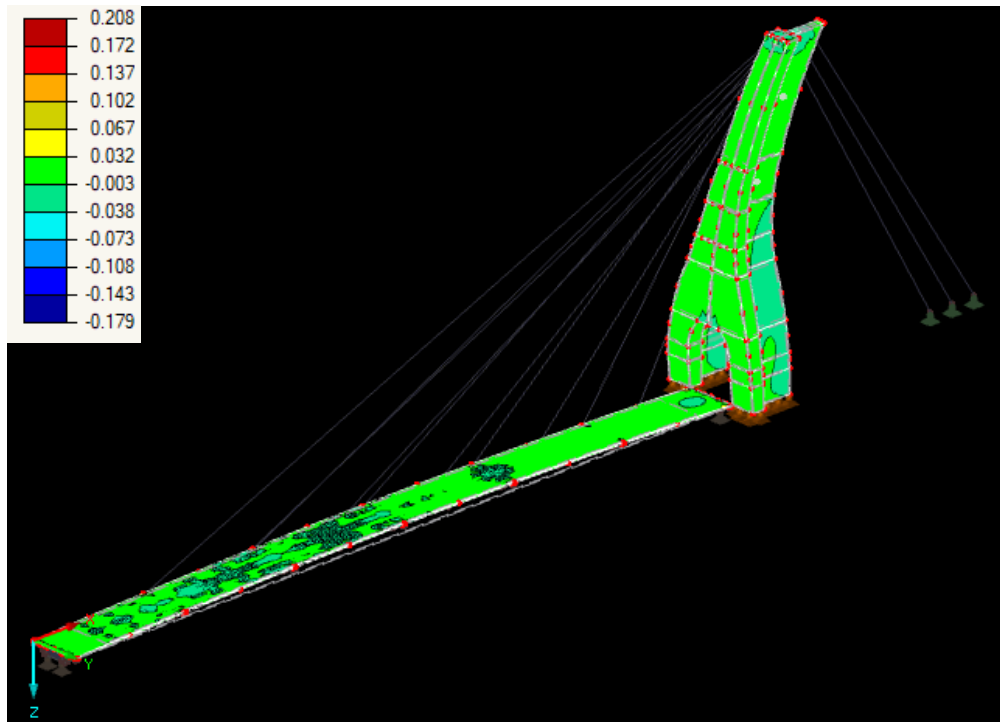


FIGURA 73. DEFORMADA ELS 3

- ELS 4

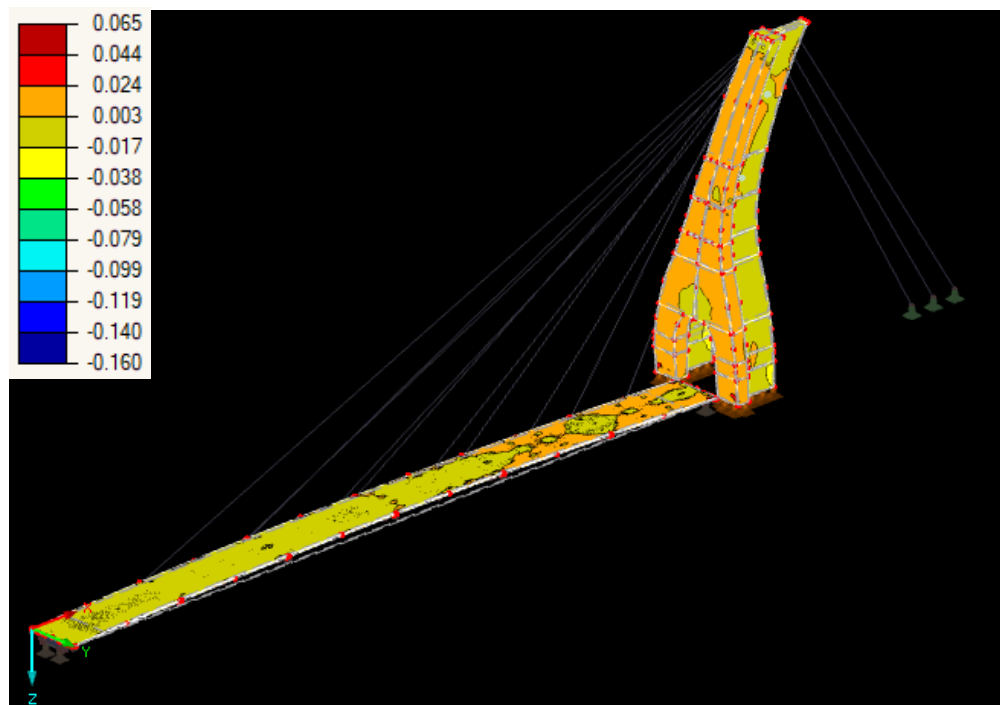


FIGURA 74. DEFORMADA ELS 4

- ELS 5

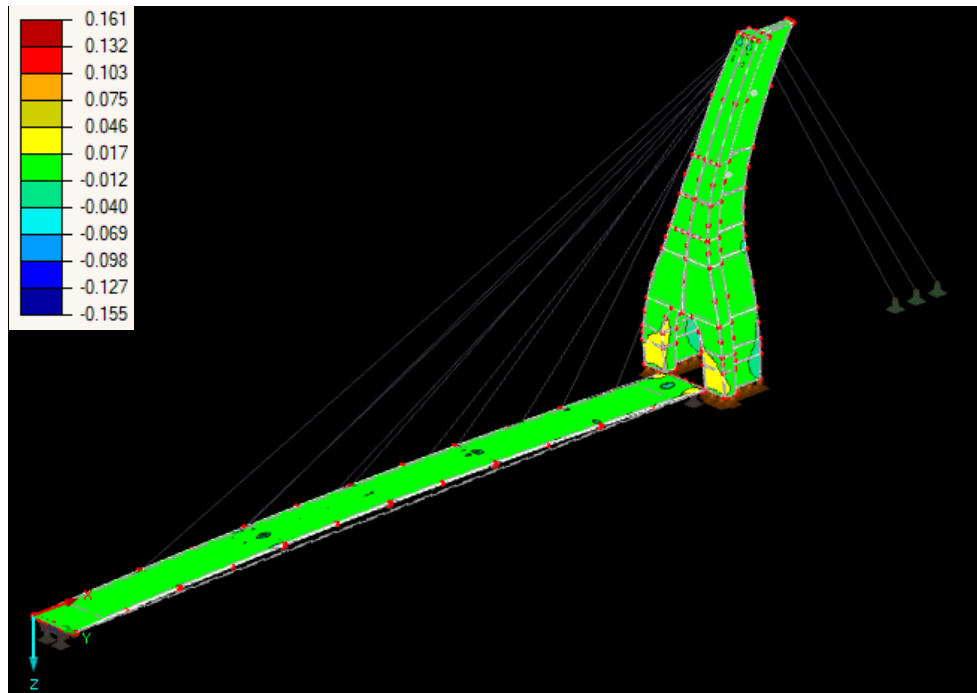


FIGURA 75. DEFORMADA ELS 5

- ELS 6

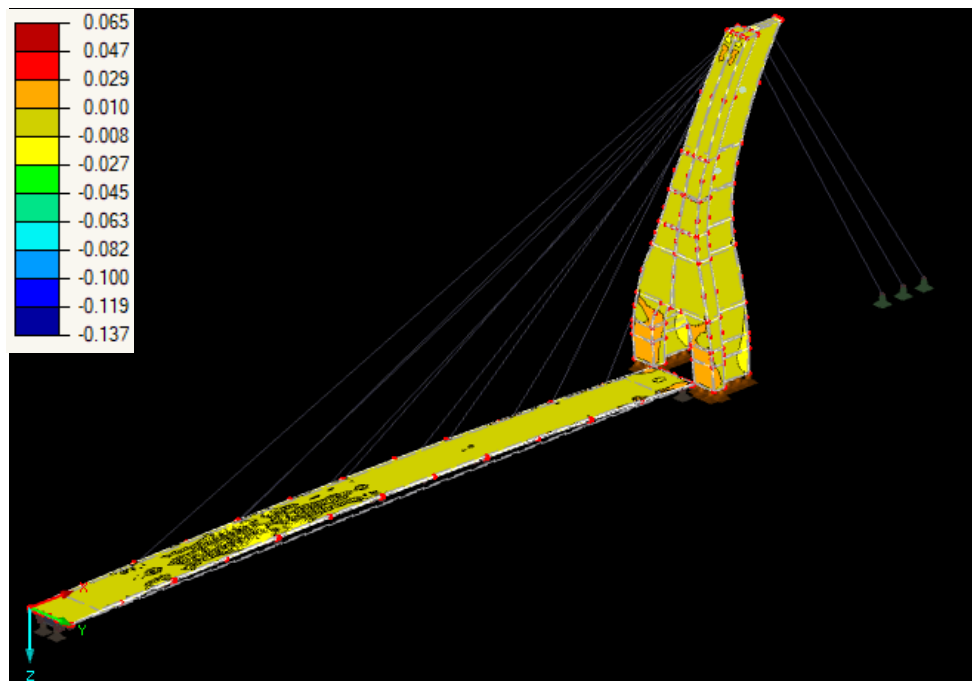


FIGURA 76. DEFORMADA ELS 6

- ELS 7

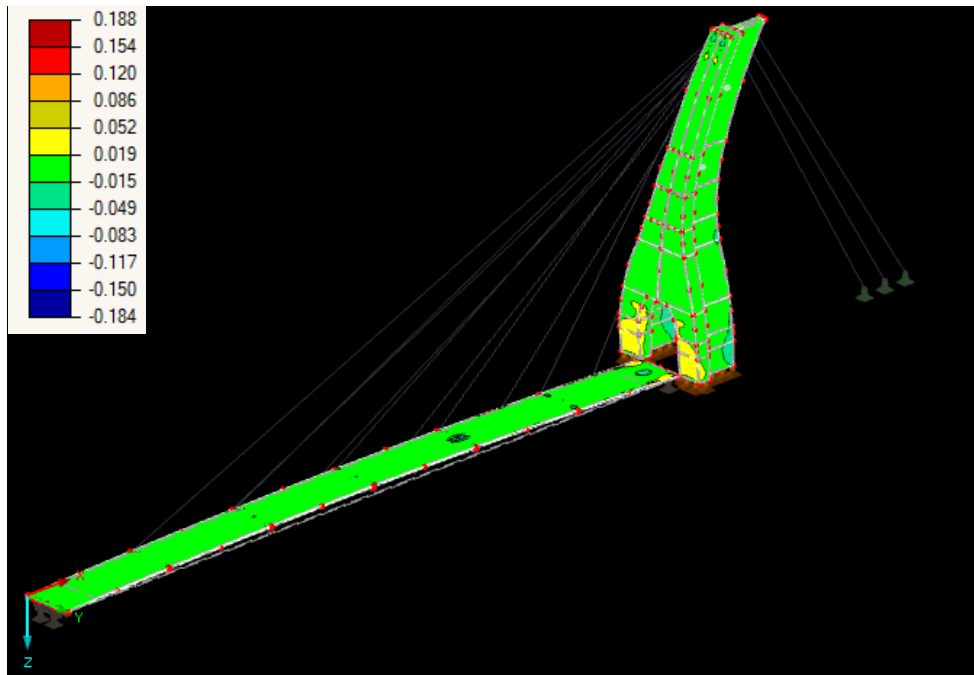


FIGURA 77. DEFORMADA ELS 7

- ELS 8

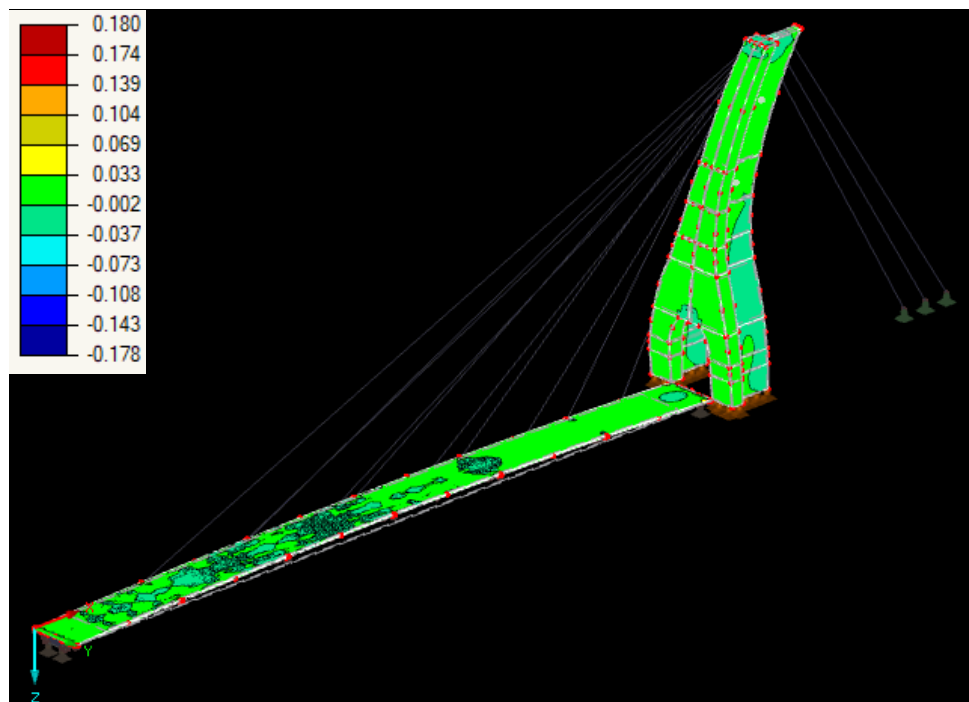


FIGURA 78. DEFORMADA ELS 8

- ELS 9

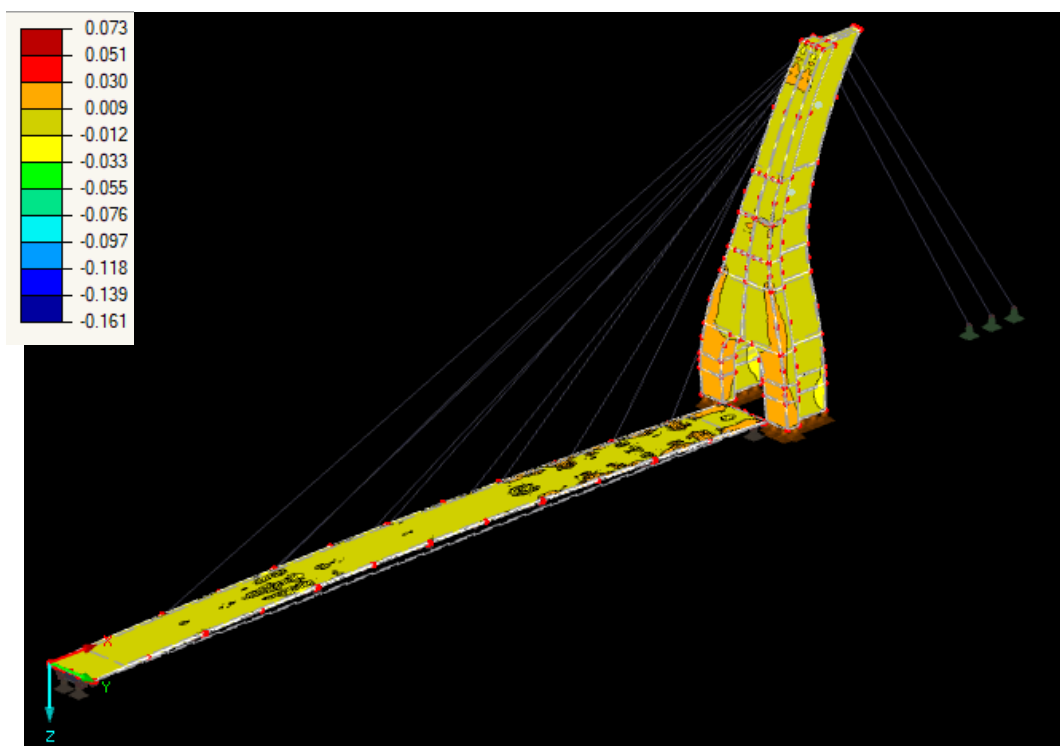


FIGURA 79. DEFORMADA ELS 9

- ELS 10

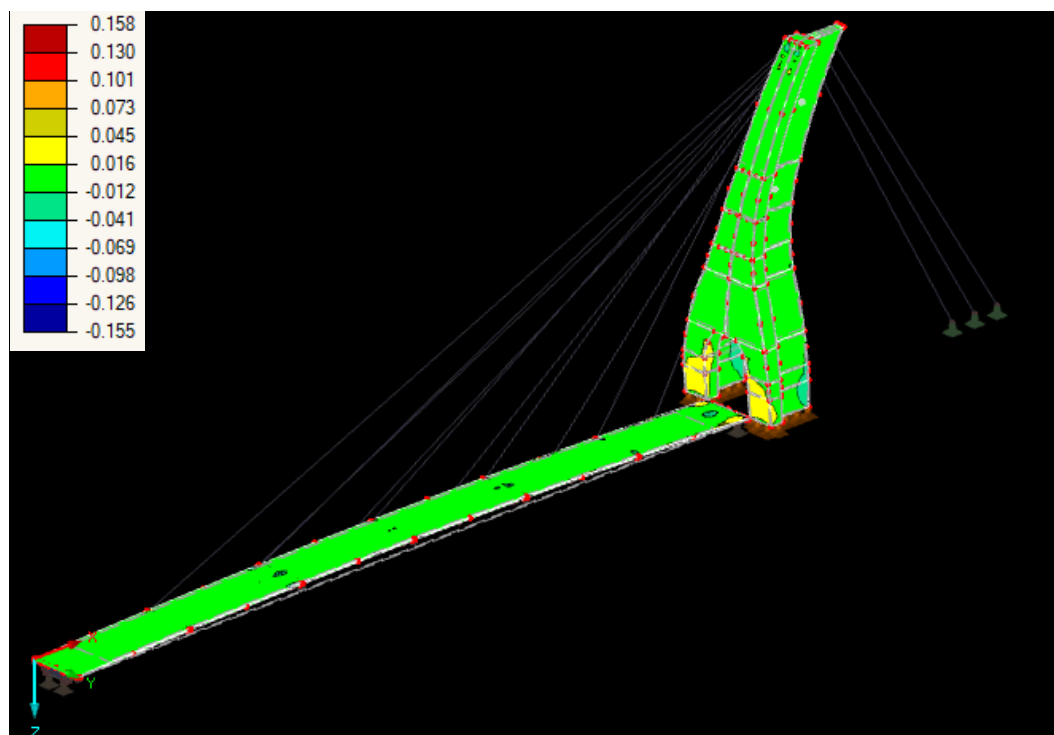


FIGURA 80. DEFORMADA ELS 10



**Armado de la pilona**

Tras realizar el diseño de la pilona, se procede a definir el armado de ésta así como el cálculo de la zapatas necesarias a colocar en los cables de compensación y en la pilona. Previo a éste cálculo será necesario conocer el momento que necesitan soportar, tomando éste de la combinación más desfavorable. En este caso, el armado de la pilona al ser una sección en T se realizará a través de un problema de cálculo de zapatas denominado CoSHA.

En relación a obtener el momento más desfavorable de las combinaciones de ELU y ELS, se deberá calcular previamente alguna de las características de la sección como el área, inercia, módulos resistentes..

La pilona en la parte superior tiene una forma similar a la del símbolo matemático "pi" (dos T juntas) pero sin embargo conforme aumenta su altura, dicha sección se va modificando debido a las curvas de su geometría hasta dar lugar en la parte superior a una única T idéntica a la de la parte inferior.

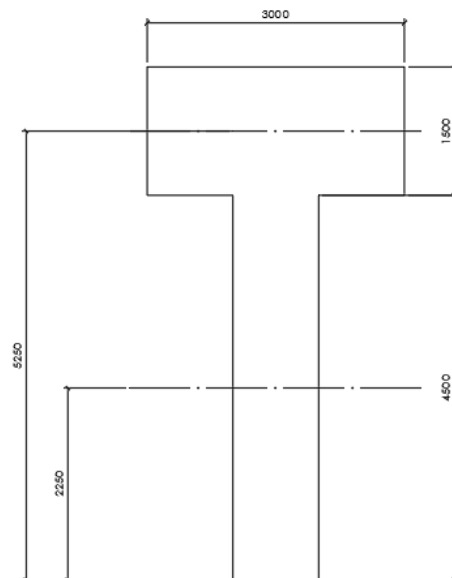


FIGURA 81. SECCIÓN

A continuación se muestra la sección junto con sus respectivos cálculos.

SECCIÓN EN T					
b	3000				
h	6000				
ZONA 1				Yg (CENTRO DE GRAVEDAD)	3750
b	3000 mm	dist. Centro	5250	Inecia 1	1,09688E+13
h	1500 mm			Inecia 2	1,77188E+13
ZONA 2				Inercia Total	2,86875E+13
b	1000 mm	dist. Centro	2250	Wsup (Mod. Res Sup)	12750000000
h	4500 mm			Wsup (Mod. Res Inf)	7650000000
AREA 1	4500000 mm2				
AREA 2	4500000 mm2				
AREA TOTAL	9000000 mm2				

FIGURA 82. CÁLCULOS PROPIEDADES DE LA SECCIÓN

Una vez obtenidas las propiedades, se procederá a calcular junto con los esfuerzos en la pilona, los esfuerzos de axil (N) y momento (M) para cada una de las combinaciones de ELU y ELS.

## DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

Una vez obtenidos éstos esfuerzos se analizarán todos ellos para seleccionar el caso más desfavorable de todos y a partir de ahí realizar el armado de la pila. En este caso, la combinación más desfavorable es en la que el viento está tomado como acción dominante, lo correspondiente a la combinación 7. En ella los esfuerzos toman el valor de 23825 kN para el axil y 69806 kNm para el momento.

A partir de ello se procederá a calcular el armado de dicha sección. En consecuencia de su geometría, sección en forma de T, se utilizará el programa CoSHA como método resolutivo.

En primer lugar, se deberá de definir la geometría de la sección a armar. Posteriormente se procederá a definir el número de barras junto con su diámetro y el recubrimiento. El programa muestra tres zonas diferenciadas en la que colocará el armado y que se muestra en la imagen adjunta. Se introducirán unos valores para ver si con ello cumpliría la sección. Se procede a realizar el cálculo y a la representación del diagrama de interacción. En éste se introducirá un punto con los valores de N y M a cumplir por la sección y se deberá comprobar que se encuentra dentro del diagrama definido previamente. Si no se cumplen, se deberán de modificar el número de barras y/o su diámetro y recubrimiento. Tras ajustarlo, en este caso se obtiene que la sección resistiría los esfuerzos si se coloca el siguiente armado:

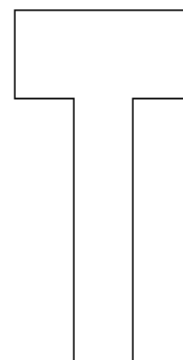


FIGURA 83. SECCIÓN

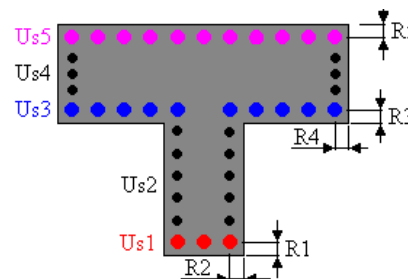


FIGURA 84. DISTRIBUCIÓN ARMADO

Us1	12	40	60
Us2	0	0	0
Us3	26	40	60
Us4	0	0	0
Us5	36	40	60

FIGURA 85. ARMADO SELECCIONADO

## DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

Seguidamente se procede a mostrar una imagen en la que se puede observar el diagrama de interacción correspondiente al armado de la sección y el punto de comprobación del caso más desfavorable a cumplir. Se justifica con ello que el armado definido cumple con los requisitos y es el adecuado para el cálculo.

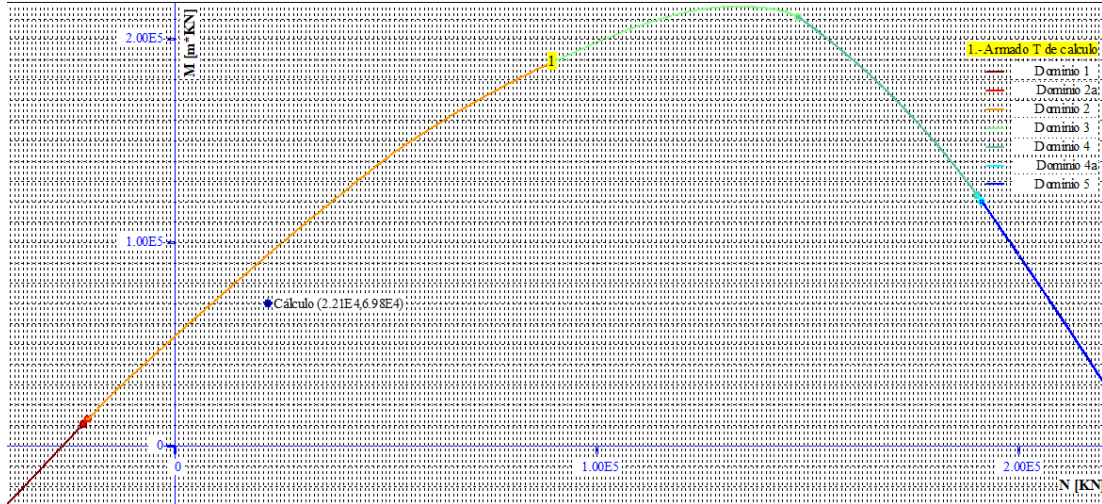


FIGURA 86. DIAGRAMA ARMADO

En la figura (87) se muestra como se dispondría la armadura definida en la sección de la pila.

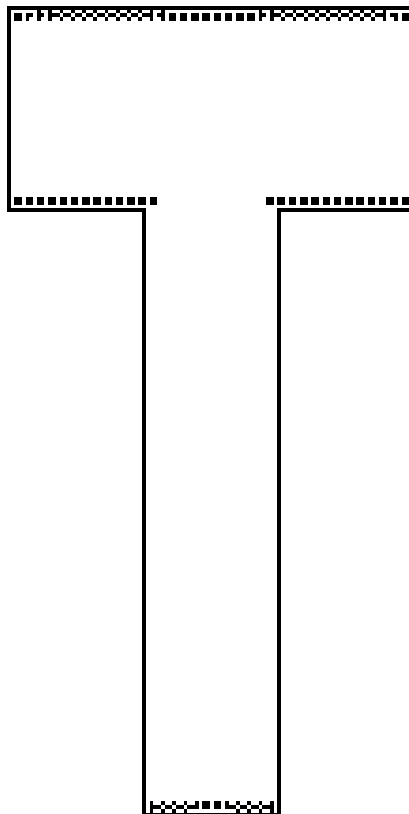


FIGURA 87. ARMADO SELECCIONADO

Dimensionado de la zapata colocada en los cables de compensación.

Una vez calculado el armado de la piona se procederá a realizar el de las zapata colocada en el anclaje de los cables de compensación de la piona. Éstos se requieren para compensar los esfuerzos exigidos por el tablero y la piona. Será necesario por lo tanto definir una zapata con hormigón armado para poder "anclarlos" al terreno. Se va a proceder a mostrar dicho cálculo.

En primer lugar se analizará el caso más desfavorable para obtener de él los esfuerzos en los tres cables.

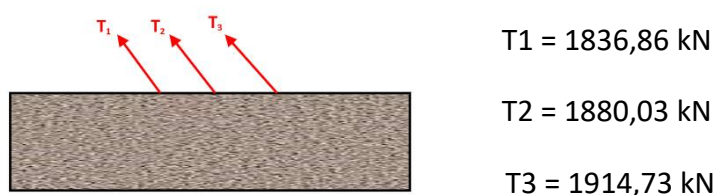


FIGURA 88. ESFUERZOS CABLES

Seguidamente se descompondrán estas secciones, en relación con el ángulo formando con el terreno, en N y V.

$N_1 = 1601,87 \text{ kN}$	$V_1 = 898,92 \text{ kN}$
$N_2 = 1639,52 \text{ kN}$	$V_2 = 920,05 \text{ kN}$
$N_3 = 1669,77 \text{ kN}$	$V_3 = 937,03 \text{ kN}$

En consecuencia, se obtiene que en el centro de la zapata los esfuerzos resultantes son:



FIGURA 89. ESFUERZOS TOTALES EN ZAPATA

El siguiente paso es realizar un predimensionamiento de la zapata para poder realizar las comprobaciones de hundimiento, deslizamiento y vuelco en ella.

La sección dispuesta es de 14x10x2 metros.

A continuación se va a justificar el cumplimiento de las comprobaciones mencionadas.

Comprobación hundimiento

**ZAPATAS**

□ **Cálculo de zapatas de base rectangular**

- ✓ Cálculo simplificado. Zapatas rígidas. Hundimiento

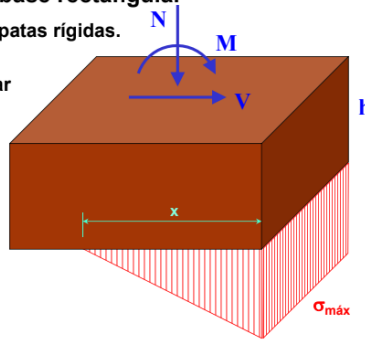
- Distribución triangular

$$\sum F_{ver} = 0$$

$$\frac{\sigma_{max}}{2} x b = N + Q_z$$

$$\sum M = 0$$

$$\frac{\sigma_{max}}{2} x b \left( \frac{a}{2} - \frac{x}{3} \right) = M + Vh$$



□ **Cálculo de zapatas de base rectangular**

- ✓ Cálculo simplificado. Zapatas rígidas. Hundimiento

- Distribución triangular

$$x = \frac{3a - 6e}{2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{4}{3} \frac{N + Q_z}{(a - 2e)b}$$

$$e = \frac{M + Vh}{N + Q_z}$$

- Condición

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$$

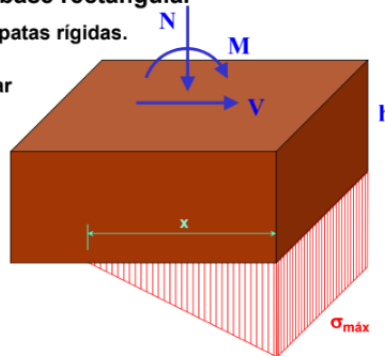


FIGURA 90. COMPROBACIÓN HUNDIMIENTO

Calculando los factores mostrados, se obtiene que:

$$\sigma_{max} = 32,66 \text{ kPa}$$

Por lo tanto, comparándolo con el esfuerzo admisible, 150 kPa, se observa que si que cumple con ésta comprobación.

Comprobación deslizamiento

**ZAPATAS**

□ **Cálculo de zapatas de base rectangular**

- ✓ Cálculo simplificado. Deslizamiento

- Se compara la fuerza de deslizamiento con la fuerza de rozamiento en la base

$$F_r = \begin{cases} (N + Q_z) \operatorname{tg} \frac{2}{3} \varphi & \text{granulares} \\ cab & \text{cohesivos} \end{cases}$$

$$F_d = V$$

$$\gamma_d = \frac{F_r}{F_d}$$

- Condición

$$\gamma_d \geq 1.5$$

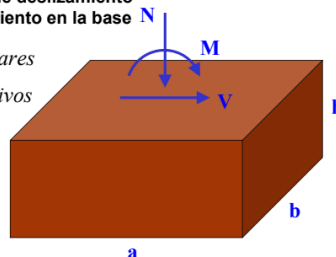


FIGURA 91. COMPROBACIÓN DESLIZAMIENTO

Considerando el terreno como granular, más específicamente gravas, el factor de rozamiento es de 0.698. A partir de ello se saca la Fr. Debido a que se trata de una zapata enterrada, se debería de comprobar la resistencia de la cara lateral con el terrero, realizando la diferencia entre la fuerza de deslizamiento y la de rozamiento. Se obtiene que el esfuerzo es de 85.34 kPa por lo que al ser inferior de los 150 kPa admisibles, estaría en lo correcto.

Comprobación vuelco

**ZAPATAS**

☐ **Cálculo de zapatas de base rectangular**

✓ **Cálculo simplificado. Vuelco**

- Se compara el momento de vuelco con el momento estabilizante

$$M_e = (N + Q_z) \frac{a}{2}$$

$$M_v = M + Vh$$

$$\gamma_v = \frac{M_e}{M_v}$$

- **Condición**

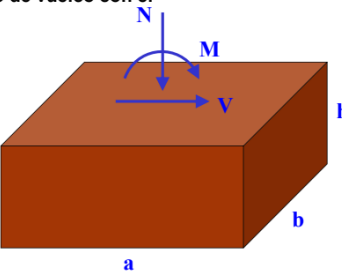
$$\gamma_v \geq \begin{cases} 1.5 & \text{zapata enterrada} \\ 1.8 & \text{zapata sobre el terreno} \end{cases}$$


FIGURA 92. COMPROBACIÓN VUELCO

Se calcula en este caso los momentos de estabilización y de vuelco en relación a sí la zapata se encuentra enterrada o sobre el terreno. En este caso la condición sería que el coeficiente entre el Me y Mv sea mayor o igual a 1.5 ya que se trata de una zapata enterrada.

Realizando las operaciones mostradas, se obtiene que el factor es de 2,56 y por lo tanto cumple con dicha condición.

Zapata de la pilona

Los esfuerzos más desfavorables en la base de la pilona se muestran en la tabla siguiente.

<b>N</b>	23825	kN
<b>V</b>	6242,855501	kN
<b>M</b>	139612,5	kNm

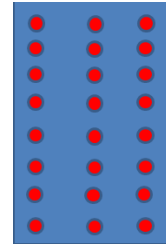
FIGURA 93. ESFUERZOS EN LA ZAPATA DE LA PILONA

En este caso, dado que se trata de una zapata de borde en la que resulta difícil satisfacer las comprobaciones de estabilidad correspondientes a una zapata aislada, se ha dimensionado una zapata de 10x16x2 m, con tres filas de 8 pilotes cada una como se muestra en la figura (42).

## DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA PASARELA PEATONAL ATIRANTADA DE ESTRUCTURA MIXTA ACERO-HORMIGÓN

En estas condiciones los esfuerzos máximos en los pilotes son:

- Máxima compresión: 3507,49 kN
- Máximo cortante: 260,11 kN
- Mínima compresión: 855,4 kN



Se muestran en las siguientes figuras el cálculo de los esfuerzos:

FIGURA 94. PILOTAJE DE LA ZAPATA

PILOTES					
Esfuerzo cables compensación	2756,00384 kN	Esfuezos 10	8998,85934 kN	Resultante pilotes	6242,8555 kN
				Esfuerzo pilote	260,118979 kN
Cable 1	580,27 kN	V1	323,557586		
Cable 2	536,15 kN	V2	298,956347		
Cable 3	841,17 kN	V3	625,404793		
Cable 4	844,31 kN	V4	627,739363		
Cable 5	1267,79 kN	V5	1063,1367		
Cable 6	1268,02 kN	V6	1063,32957		
Cable 7	1574,88 kN	V7	1402,10274		
Cable 8	1570,97 kN	V8	1398,6217		
Cable 9	1194,54 kN	V9	1099,82367		
Cable 10	1190,59 kN	V10	1096,18687		
Angulo 1 y 2	56,11		0,97930653		
Angulo 3 y 4	41,97		0,7325164		
Angulo 5 y 6	33,01		0,57613453		
Angulo 7 y 8	27,09		0,4728108		
Angulo 9 y 10	22,97		0,40090307		

FIGURA 95. CÁLCULO ESFUERZOS

En ninguna de las hipótesis consideradas se produce tracción en los pilotes. El esfuerzo de referencia para seleccionar los pilotes será de 260,11 kN.

### ELEMENTOS DE APOYO

En este apartado se va a comprobar la capacidad de resistencia a compresión de los apoyos de neopreno situados en los extremos de la pasarela ( $x=0$  y  $x=90$ ). El neopreno zunchado tiene una tensión máxima admisible de compresión de 15 MPa.

La compresión máxima en los apoyos de neopreno se obtiene en la hipótesis 7 y tiene un valor de 9.6 MPa, inferior a la admisible.

### CABLES PRETENSADOS

En el caso de los cables pretensados, se procede a calcular el esfuerzo axial que son capaces de soportar y posteriormente se compara con los axiles obtenidos en las combinaciones más desfavorables.

- Cables tablero

$$N_{adm} = (\sigma_e \times A) / \gamma_M = (1230 * \pi * (80^2/4)) / 1.05 = 5888,24 \text{ kN}$$

$$N_{m\acute{a}x} = 1574,88 \text{ kN}$$

- Cables compensación

$$N_{adm} = (\sigma_e \times A) / \gamma_M = (1230 * \pi * (120^2/4)) / 1.05 = 13248,54 \text{ kN}$$

$$N_{m\acute{a}x} = 1914,73 \text{ kN}$$

Por lo tanto, se obtiene que ambos elementos cumplen con la normativa, obteniendo un alto margen de seguridad.