ANEJO Nº4

DISEÑO Y COMPROBACIÓN DE LA ESTRUCTURA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 6
1.1 OBJETO DEL ANEJO 6
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA 6
1.2.1 Tramos de acceso 6
1.2.2 Tramo principal 7
2. PREDISEÑO DEL TRAMO ATIRANTADO 8
3. BASES DE CALCULO 8
3.1 NORMATIVA APLICADA 8
3.2 MATERIALES 9
3.2.1 Ambiente y recubrimientos 9
3.2.2 Propiedades mecánicas 9
3.3 COEFICIENTES DE SEGURIDAD 10
3.4 BASE PARA LA COMBINACIÓN DE ACCIONES 10
3.4.1 Valor de cálculo para comprobaciones en ELU 10
3.4.1.1 En situación persistente o transitoria 10
3.4.1.2 En situación sísmica 10
3.4.2 Valor de cálculo para comprobaciones en ELS 10
3.4.3 Combinación de acciones 10
3.4.3.1 Combinaciones para comprobaciones en ELU 10
3.4.3.2 Combinaciones para comprobaciones en ELS 10
4. ACCIONES 10
4.1 ACCIONES PERMANENTES DE VALOR CONSTANTE (G) 10
4.1.1 Peso Propio 10
4.1.2 Cargas Muertas 11
4.2 ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE (G*) 11
4.2.1 Presolicitaciones 11
4.2.1.1 Pretensado 11
4.2.2 Asientos del terreno de cimentación 12
4.3 ACCIONES VARIABLES (Q) 12
4.3.1 Sobrecarga de uso 12
4.3.1.1 Empujes sobre barandillas 12
4.3.1.2 Sobrecarga de uso en pasarelas 12
4.3.2 Viento 12
4.3.2.1 Velocidad básica del viento 12
4.3.2.2 Velocidad media del viento 12
4.3.2.3 Empuje del viento 14
4.3.2.4 Dirección del viento 15
4.3.2.5 Empuje del viento sobre el tablero 15
4.3.2.6 Empuje del viento sobre pilas 17
4.3.3 Acción térmica 17
4.3.3.1 Acción térmica en tableros 17
4.3.3.2 Acción térmica en pilas 18
4.3.3.3 Diferencia de temperatura uniforme entre elementos estructurales 18
4.4 ACCIONES ACCIDENTALES (A) 18
4.4.1 Impactos 18
4.4.2 Acción sísmica (A_E) 18
4.4.2.1 Caracterización del terreno 19

4.4.2.2 Aceleración sísmica básica (a_b) 19
4.4.2.3 Aceleración sísmica horizontal de cálculo (a_c) 19
4.4.2.4 Espectro de respuesta elástica 19
5. MODELOS DE CÁLCULO 20
5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO 20
5.1.1 Tramos de acceso 20
5.1.2 Tramo principal 20
5.2 COORDENADAS DE NUDOS Y COACCIONES 21
5.3 DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS 23
5.4 PROPIEDADES DE LAS SECCIONES 25
5.5 HIPÓTESIS DE CARGA 25
5.5.1 Definición de los casos de carga 25
5.5.1.1 Acciones permanentes 25
5.5.1.2 Acciones variables (Q) 26
5.5.1.3 Acciones accidentales (A_E) 26
5.5.2 Combinación de acciones 26
6. RESULTADOS OBTENIDOS 28
7. COMPROBACIONES ESTRUCTURALES EN ELU 28
7.1 TESADO DE LOS TIRANTES 28
7.1.1 Tensión final de tesado 28
7.1.2 Tensión de tesado de cada tirante 28
7.2 COMPROBACIÓN DEL TABLERO METÁLICO 29
7.2.1 Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales 29
7.2.2 Estado límite de agotamiento frente a cortante en presencia de torsión 30
7.2.3 Resultados 30
7.3 COMPROBACIÓN DE LA LOSA DE HORMIGÓN 31
7.4 COMPROBACIÓN DEL PILONO 31
7.4.1 Pretensado de la riostra 31
7.4.1.1 Diseño del pretensado 31
7.4.1.2 Fuerza de tesado 32
7.4.1.3 Trazado medio de los cables 32
7.4.2 Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales 33
7.4.3 Estado límite de inestabilidad 34
7.4.4 Estado límite de agotamiento frente a cortante y torsión 34
7.4.5 Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante 34
8. COMPROBACIONES EN ELS 34
8.2 ESTADO LÍMITE DE DEFORMACIONES 34
8.3 ESTADO LÍMITE DE PLASTIFICACIONES LOCALES 35
8.4 ESTADO LÍMITE DE VIBRACIONES 35
8.5 ESTADO LÍMITE DE FISURACIÓN 36
8.6 ESTADO LÍMITE DE FATIGA 37
9. DIMENSIONAMIENTO DE APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN 38
9.2 APARATOS DE APOYO 38
9.3 JUNTAS DE DILATACIÓN 38
10. CONCLUSIONES 39
11. BIBLIOGRAFÍA 39

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO DEL ANEJO

El objetivo del presente anejo es diseñar la estructura y verificar que es capaz de resistir las acciones que van a solicitarla y cumplir con los objetivos de funcionalidad durante toda su vida útil, de una manera eficiente, sin incurrir en sobredimensionamientos ni en sobrecostes de construcción y/o mantenimiento.

Para ello, se han llevado a cabo comprobaciones resistentes en ELU y funcionales en ELS, bajo la combinación de cargas establecida por la normativa en cada caso.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura estudiada se divide en dos partes o tramos diferenciados principalmente por su tipología estructural.

Por un lado, los tramos de acceso, se han diseñado como vigas continuas de dos vanos de sección constante y trazado curvo. Existen cuatro módulos iguales dispuestos simétricamente que sirven de conexión entre el tramo principal (parte atirantada) y los marcos de paso por la rotonda superior de la autovía.

Por otro lado, el tramo principal que salva la autovía, está compuesto por un único vano continuo de estribo a estribo el cual se suspende de siete tirantes de acero.

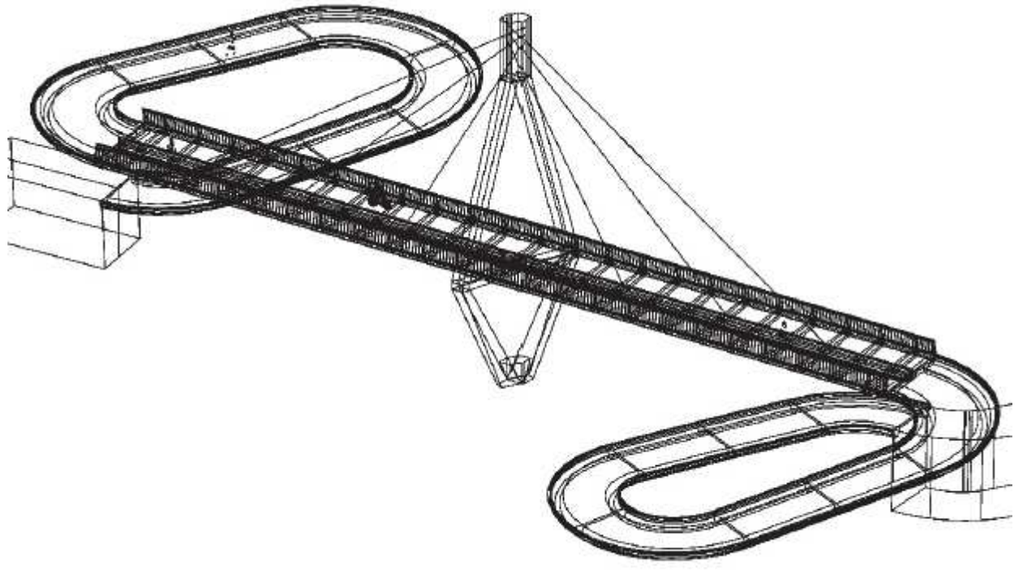


Figura 1 Diseño conceptual de la pasarela

A continuación, se detallan las diferentes partes que forman la estructura.

1.2.1 Tramos de acceso

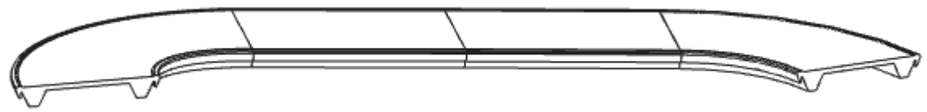
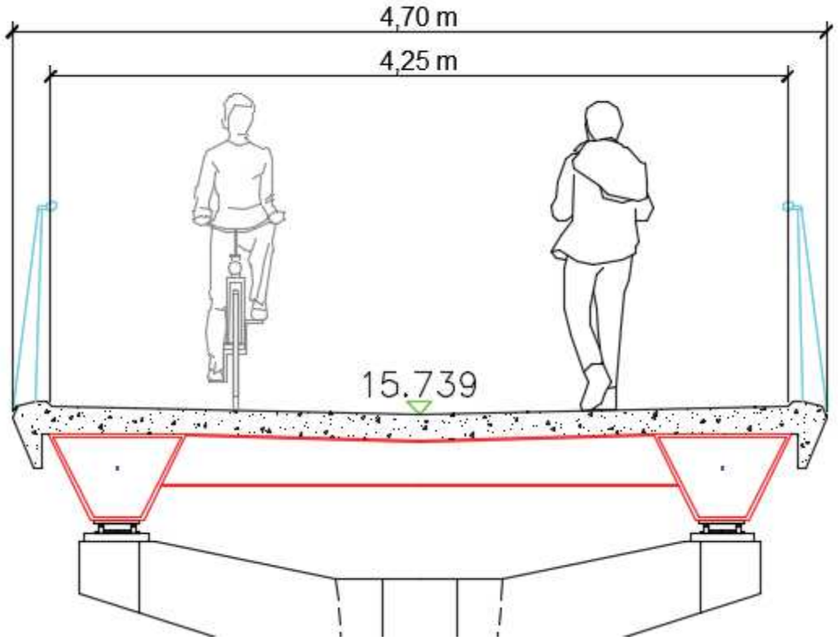


Figura 2 Tablero de un módulo de los tramos de acceso

Cada módulo Tiene una longitud de 29,7 m (13,5 + 16.2) y está compuesto por dos vigas longitudinales en cajón de acero conectados a una losa superior de hormigón, y por vigas de piso de sección tubular cada 2,5 m.

Tiene una anchura total y utilizable de 4,7 y 4,25 m respectivamente.



1.2.2 Tramo principal

El vano principal tiene una longitud de 58 m y está compuesto por un tablero metálico formado por una viga longitudinal central, vigas transversales de canto variable, vigas de borde y una losa de hormigón de 15 cm, un pilono de hormigón en forma de diamante en cuya parte superior se anclan un total de 7 tirantes. Los tirantes están dispuestos en forma de abanico y se conectan con la viga longitudinal guardando una separación de 7,5 m.

La directriz del tablero presenta una desviación de 25º respecto al eje del pilono, excepto en la zona de anclaje de los tirantes, la cual está alineada con el plano de atirantamiento.

El pilono se conecta entre sí por debajo del tablero mediante una riostra de hormigón pretensada de canto variable, siendo éste de 25 cm en la sección central y 50 cm en la sección de empotramiento.

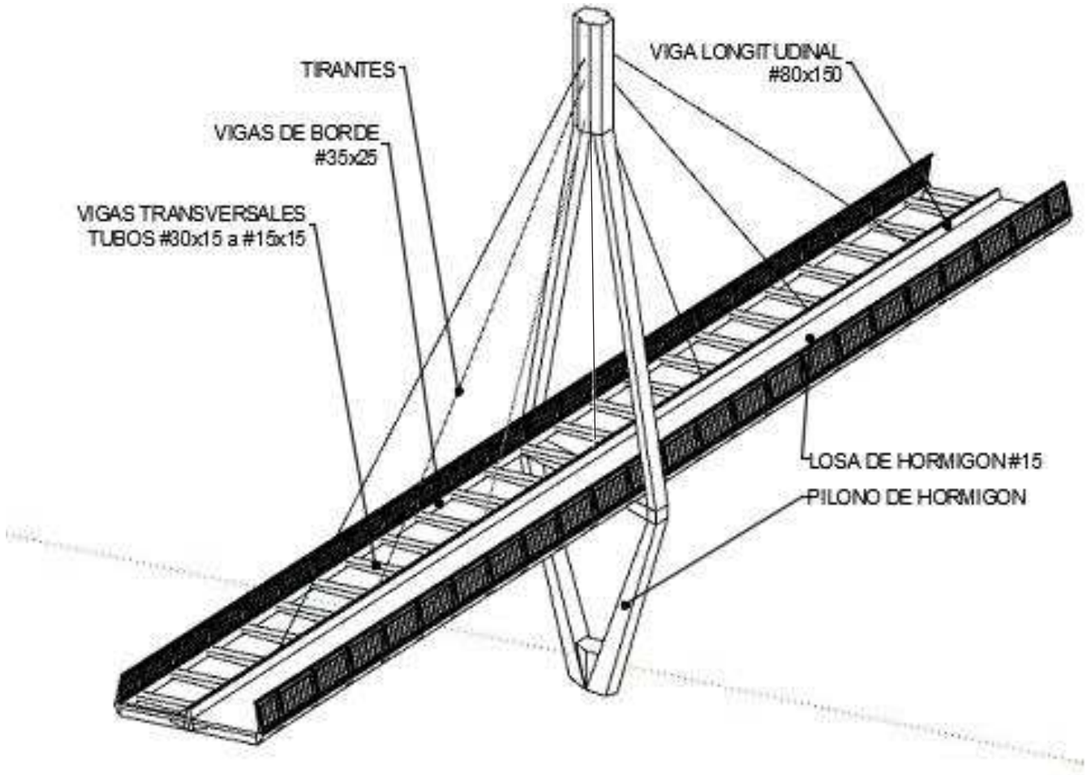


Figura 3 Tramo principal

El tablero tiene una anchura total de 6,20 m y una anchura utilizable de 5,50 m. Debido al cajón central, el tráfico queda segregado en dos carriles de 2,75 m, uno para ciclistas y otro para peatones.

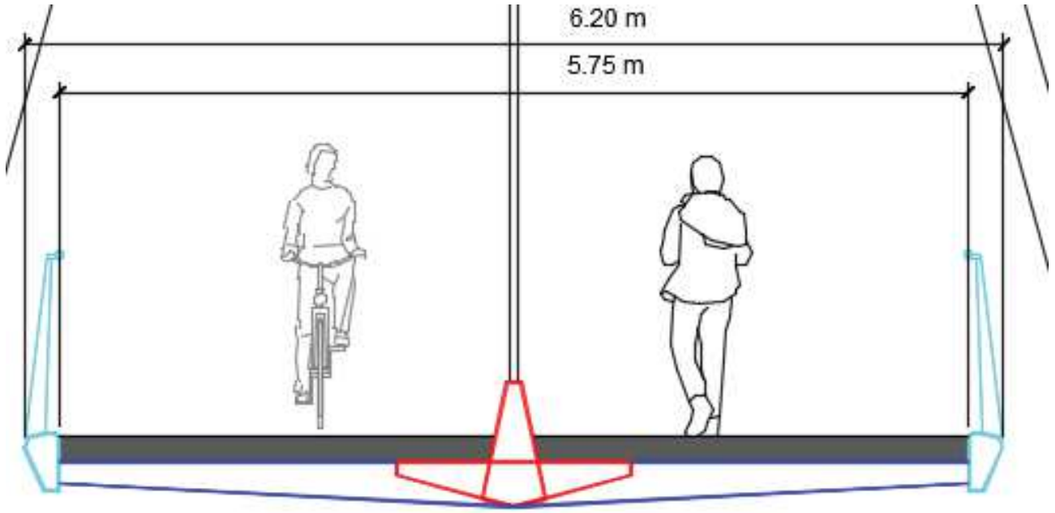


Figura 4 Tablero del tramo principal

2. PREDISEÑO DEL TRAMO ATIRANTADO

El primer paso en el diseño estructural consiste en comprobar de una manera simplificada si las dimensiones de los distintos elementos que constituyen la pasarela son suficientes para resistir las cargas actuantes.

Para ello se ha modelizado la estructura como una viga continua de 8 vanos, materializando un apoyo fijo en el lugar donde se situarán los cables.

Tras analizar el modelo, se han comprobado que las secciones críticas satisfacen los criterios de resistencia y se han obtenido las reacciones en los apoyos para estimar el esfuerzo axil de tracción al que van a estar solicitados los tirantes.

Se ha escogido el sistema H1000 de Freyssinet por ser un sistema económico para puentes peatonales. Este sistema consiste en un haz paralelo de cordones de siete hilos cada uno (T15) de alta resistencia y protegidos individualmente contra la corrosión.

Atendiendo a los esfuerzos que tienen que resistir, el número de cables necesario es de 12 en los tirantes extremos, 7 en los dos tirantes siguientes y 4 en el tirante central, por tanto, el sistema de atirantado es el siguiente:

12T15 + 7T15 + 7T15 + 4T15 + 7T15 + 7T15 + 12T15

El anclaje de los tirantes en el pilono será fijo, mientras que los anclajes en la viga longitudinal serán de tipo horquilla, siendo éstos último desde los que se aplicará la tensión en los tirantes (anclajes activos).

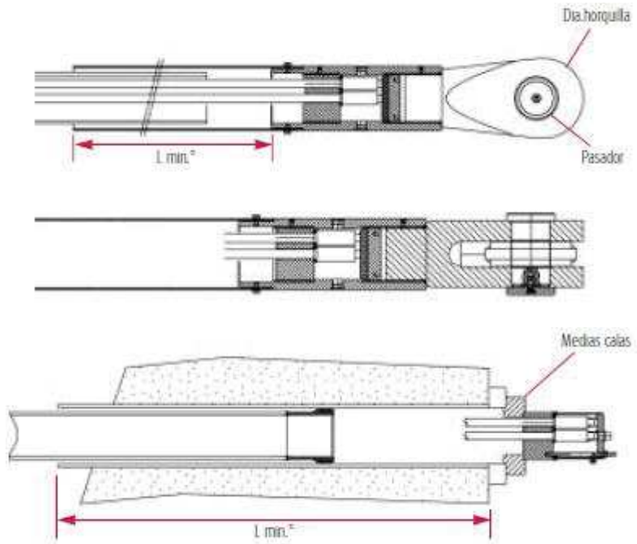


Figura 5 Sistemas de anclaje de los tirantes

3. BASES DE CALCULO

3.1 NORMATIVA APLICADA

A continuación, se expone la normativa y literatura aplicada para el diseño y cálculo estructural llevado a cabo en el presente anejo:

- Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11). Ministerio de Fomento
- Norma de construcción sismorresistente: Puentes (NCSP-07). Ministerio de Fomento
- Instrucción de Acero Estructural (EAE-11). Ministerio de Fomento
- Eurocódigo 3 parte 2 (UNE-EN 1993-2) Proyecto de estructuras de acero. Puentes
- Eurocódigo 4 parte 2 (UNE-EN 1994-2 Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Reglas generales y reglas para puentes
- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Ministerio de Fomento.
- Recomendaciones para el proyecto de puentes metálicos para carreteras (RPM-95). Ministerio de Fomento
- Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras (RPX-95). Ministerio de Fomento

3.2 MATERIALES

3.2.1 Ambiente y recubrimientos

Según el apartado 8.2.3 de la EHE-08, la clase general de exposición es **IIIa**, al tratarse de un ambiente marino por encontrarse en las proximidades de la costa. Respecto a la clase específica de exposición, no existe ataque de ninguna naturaleza.

Respecto al recubrimiento, según el artículo 37.2.4 de la EHE-08, el recubrimiento nominal de las armaduras pasivas viene definido por la expresión:

$$r_{nom} = r_{minimo} + \Delta_r = 30 + 5 = \mathbf{35\ mm}$$

Donde:

- r_{minimo} es el recubrimiento mínimo que debe garantizarse en cualquier punto. En nuestro caso, para hormigón armado, un ambiente IIIa y una vida útil de 100 años, se obtiene un recubrimiento mínimo de 30 mm (Tabla 34.2.4.1.b de la norma)
- Δ_r es el margen de recubrimiento, cuyo valor para elementos ejecutados *in situ* con un nivel de control alto, es de 5 mm

Por otro lado, el recubrimiento de las armaduras activas será de **40 mm.**

3.2.2 Propiedades mecánicas

a) Hormigón

El hormigón dispuesto en todos los elementos hormigonados in situ, tales como tablero, pilas, estribos y cimentaciones consiste en un **HA-30/B/20/IIIa**, con las siguientes características mecánicas:

- Resistencia característica a compresión a 28 días: $f_{ck} = 30\ N/mm^2$
- Módulo de deformación: $E_{cm} = 8.500 \cdot \sqrt[3]{f_{cm}} = 8.500 \cdot \sqrt[3]{f_{ck} + 8} = 28.576{,}8\ N/mm^2$
- Resistencia a tracción: $f_{ct,k} = 0{,}21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 2\ N/mm^2$
- Coeficiente de dilatación térmica: $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$
- Densidad: $\rho = 2.500\ Kg/m^3$

b) Acero pasivo

Se empleará un acero pasivo para el hormigón B 500 SD, cuyas características mecánicas son:

- Límite elástico: $f_{yk} \geq 500\ N/mm^2$
- Tensión de rotura: $f_{uk} \geq 550\ N/mm^2$
- Módulo de elasticidad: $E_s = 210.000\ N/mm^2$

c) Acero estructural

El acero a utilizar tanto en perfiles como en chapas se corresponde con un S355 J2 con un espesor nominal menor a 16 mm.

- Módulo de elasticidad: $E_s = 210.000\ N/mm^2$
- Límite elástico: $f_{yk} \geq 355\ N/mm^2$

- Tensión de rotura: $f_{uk} \geq 470\ N/mm^2$
- Módulo de elasticidad transversal: $G = 81000\ N/mm^2$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0{,}3$
- Densidad: $\rho = 7.850\ Kg/m^3$
- Coeficiente de dilatación térmica: $\alpha = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\ °C^{-1}$

d) Armadura activa en tirantes y postesados

Se empleará un acero de alta resistencia Y 1770 C, con las siguientes características mecánicas:

- Límite elástico: $f_{yk} \geq 1550\ N/mm^2$
- Tensión de rotura: $f_{uk} \geq 1770\ N/mm^2$
- Módulo de elasticidad: $E_s = 210.000\ N/mm^2$

3.3 COEFICIENTES DE SEGURIDAD

El nivel de control de ejecución para todos los elementos y materiales será normal, por tanto, los coeficientes de seguridad de los materiales son:

- Acero estructural: $\gamma_{M0} = 1{,}10$
- Acero activo: $\gamma_R = 1{,}10$
- Acero pasivo; $\gamma_s = 1{,}15$
- Hormigón: $\gamma_c = 1{,}5$

3.4 BASE PARA LA COMBINACIÓN DE ACCIONES

3.4.1 Valor de cálculo para comprobaciones en ELU

3.4.1.1 En situación persistente o transitoria

a) Comprobaciones resistentes (STR)

Según lo dispuesto en el artículo 6.2.1.1.2 de la IAP-11.

3.4.1.2 En situación sísmica

Según lo dispuesto en el artículo 4.2.1 de la NCSP-07.

3.4.2 Valor de cálculo para comprobaciones en ELS

Según el apartado 6.2.2 de la IAP-11

3.4.3 Combinación de acciones

3.4.3.1 Combinaciones para comprobaciones en ELU

Según el apartado 6.3.1 de la IAP-11.

Para la combinación de la acción sísmica se seguirá lo establecido en el artículo 4.2.4.3 de la NCSP-07.

3.4.3.2 Combinaciones para comprobaciones en ELS

Según el apartado 6.3.2 de la IAP-11

Los factores de simultaneidad tanto para ELU como para ELS se tomarán de la Tabla 6.1-a de la norma.

4. ACCIONES

A continuación, se definen el valor representativo de las acciones que se han considerado para el cálculo de la estructura, según la instrucción de acciones para puentes de carretera IAP-11.

4.1 ACCIONES PERMANENTES DE VALOR CONSTANTE (G)

4.1.1 Peso Propio

Estas acciones se corresponden con el peso de los elementos estructurales, deducido de sus dimensiones y de los pesos específicos de los materiales, los cuales se indican a continuación:

Tabla 1 Peso específico de los materiales en KN/m3

Acero	78,5
Hormigón armado y pretensado	25,0
Pavimento de mezcla bituminosa	23,5

4.1.2 Cargas Muertas

Son las debidas al peso de los elementos no estructurales que gravitan sobre la estructura (pavimento, barandillas y sistemas de desagüe). Dicho peso se deducirá de las dimensiones de los elementos y los pesos específicos de los materiales.

4.2 ACCIONES PERMANENTES DE VALOR NO CONSTANTE (G*)

4.2.1 Presolicitaciones

se considerarán incluidas todas las formas posibles de introducir esfuerzos en una estructura antes de su puesta en servicio, con el fin de mejorar su respuesta frente al conjunto de solicitaciones a las que posteriormente se verá sometida.

4.2.1.1 Pretensado

a) Pretensado de la riostra del pilono

El sistema de pretensado diseñado consiste en dos cables de 7 torones cada uno tesados al 75% de la tensión de rotura (fup).

Tabla 1 Tensión de pretensado

Ap (2 cables x 7 x 6")	2100 mm^2
Po,cable	1395 KN
Pérdidas instantáneas	5 %
Pérdidas diferidas	10 %

b) Tesado de los tirantes

El sistema de cables diseñado consiste en un haz paralelo de cordones de siete hilos de alta resistencia (monocordones), protegidos individualmente contra la corrosión. Los cordones se agrupan formando los cables, que a su vez se introducen en una vaina de polietileno extruida.

Cada cable ha sido diseñado en función de los esfuerzos que va a resistir a lo largo de su vida útil, disponiendo para cada uno el número de cordones necesarios y pretensándolos a la carga de tesado necesaria para alcanzar el estado final deseado.

Tabla 2 Diseño del tesado de los tirantes

Cable 1/7	12 cordones	480 KN
Cable 2/6	7 cordones	361 KN
Cable 3/5	7 cordones	293 KN
Cble 4	4 cordones	280 KN

4.2.2 Asientos del terreno de cimentación

Para tener en cuenta los efectos producidos por asientos de la cimentación, se ha considerado un movimiento de 0,5 pulgadas (12,7 mm) en cualquiera de los apoyos de la estructura.

4.3 ACCIONES VARIABLES (Q)

4.3.1 Sobrecarga de uso

4.3.1.1 Empujes sobre barandillas

En puentes y pasarelas, se adoptará una clase de carga tal que la fuerza horizontal perpendicular al elemento superior de la barandilla sea como mínimo 1,5 kN/m.

Esta fuerza horizontal se considerará actuando simultáneamente con la sobrecarga uniforme.

4.3.1.2 Sobrecarga de uso en pasarelas

Para la determinación de los efectos estáticos de la sobrecarga de uso debida al tráfico de peatones, se considerará la acción simultánea de las cargas siguientes:

- Una carga vertical uniformemente distribuida q_{fk} de valor igual a 5 kN/m2
- b) Una fuerza horizontal longitudinal Q_{flk} de valor igual al 10% del total de la carga vertical uniformemente distribuida, actuando en el eje del tablero al nivel de la superficie del pavimento.

Ambas cargas se consideran como una acción única, cuyo valor constituye el valor característico de la sobrecarga de uso cuando se combina con el resto de las acciones (cargas permanentes, viento, etc.).

La fuerza horizontal Q_{flk} será en general suficiente para asegurar la estabilidad horizontal longitudinal de la pasarela; no así la estabilidad horizontal transversal, que deberá asegurarse mediante la consideración de las acciones correspondientes.

A efectos de las comprobaciones locales, se considerará una carga vertical puntual Q_{fwk} de valor igual a 10 kN, actuando sobre una superficie cuadrada de 0,10 m de lado.

4.3.2 Viento

la acción del viento se asimilará a una carga estática equivalente.

4.3.2.1 Velocidad básica del viento

a) Velocidad básica fundamental del viento:

Para el caso que nos ocupa, la pasarela está ubicada en Sueca (Valencia), por tanto se trata de Zona A, con una velocidad básica fundamental de $V_{b,0} = 26\ m/s$

b) Velocidad básica del viento ★

Para un periodo de retorno de T=100 años se obtiene de la expresión:

$$V_b(100) = C_{prob} \cdot C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

Donde:

- C_{dir} factor direccional del viento que de valor 1,0
- C_{season} factor estacional del viento de valor 1,0
- C_{prob} factor de probabilidad de valor 1,04

Por tanto, se obtiene una velocidad básica del viento de:

$$V_b(100) = 1{,}04 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 26 = 27{,}04\ m/s$$

4.3.2.2 Velocidad media del viento

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

$$V_m(Z) = C_r(z) \cdot C_o \cdot V_b(T)$$

donde:

- $V_b(T)$ velocidad básica del viento [m/s] para un periodo de retorno T
- C_o factor de topografía, que se tomará habitualmente igual a 1,0. En valles en los que se pueda producir un encauzamiento del viento actuante sobre el puente, se tomará para C_o un valor de 1,1. Cuando existan obstáculos naturales susceptibles de perturbar apreciablemente el flujo del viento sobre el puente, el valor de C_o se determinará mediante un estudio específico
- $C_r(z)$factor de rugosidad obtenido de la siguiente fórmula:

$$C_r(Z) = K_r \cdot \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad para\ Z \geq Z_{min}$$

$$C_r(Z) = C_r(Z_{min}) \qquad para\ Z < Z_{min}$$

siendo:

- Z altura del punto de aplicación del empuje de viento respecto del terreno o respecto del nivel mínimo del agua bajo el puente [m]
- K_r factor del terreno, según *tabla 2*
- Z_0 longitud de la rugosidad, según *tabla 2*
- Z_{min} altura mínima, según *tabla 2*

Teniendo en cuenta que el entorno es **TIPO II** (zona rural con vegetación baja y obstáculos aislados), se obtienen los siguientes parámetros:

Tabla 3 Parámetros de rugosidad del terreno

TIPO DE ENTORNO	K_r	$Z_0[m]$	$Z_{min}[m]$
II	0,19	0,05	2

Para la determinación de la altura (Z) del punto de aplicación del empuje del viento, se ha dividido la pila central en cinco secciones, atendiendo a su semejanza seccional (véase la figura 2). Por tanto, se obtendrán cinco valores de la velocidad media V_m, cada uno de ellos actuando en el tramo correspondiente.

En el caso del tablero del tramo principal, se obtendrá un único valor de V_m ya que la altura Z es constante.

Por último, para el tablero de los tramos de acceso, se ha estimado la cota media del mismo.

Tabla 4 Velocidad media del viento

ELEMENTO	Z [m]	Cr	Vm [m/s]
TAB. TRAMO ACCESO	6.25	0.92	24.77
TAB. TRAMO PRINCIPAL	8.50	0.98	26.35
	1.00	0.70	18.92
	4.25	0.84	22.79
PILA	8.00	0.96	26.04
	13.00	1.06	28.53
	21.50	1.15	31.11

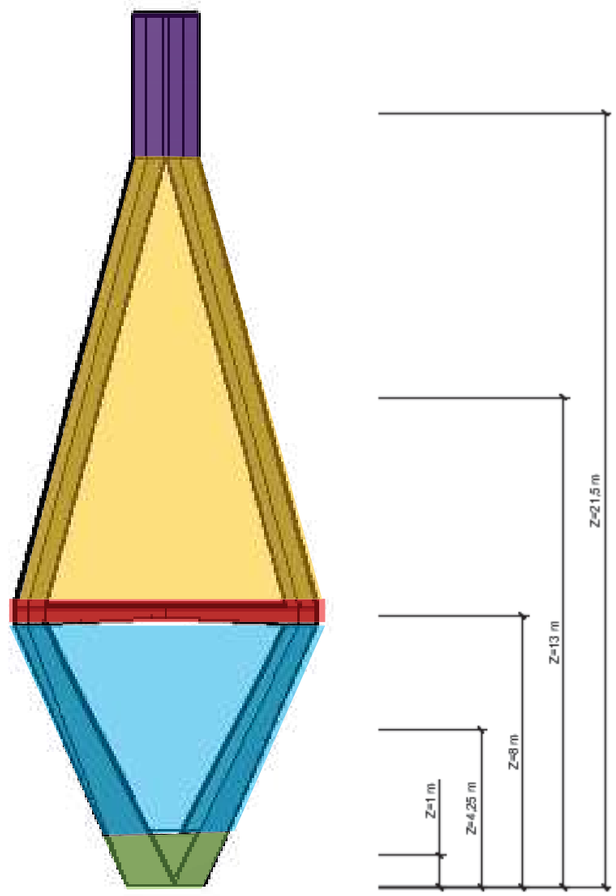


Figura 6 Descomposición del pilono en tramos de igual coeficiente de forma

4.3.2.3 Empuje del viento

El empuje producido por el viento se calculará por separado para cada elemento del puente, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El área expuesta al viento o las características aerodinámicas del elemento pueden resultar modificadas por la materialización de otras acciones actuando en la estructura (nieve, sobrecargas de uso, etc.).
- En situaciones transitorias, algunos elementos pueden presentar superficies de exposición al viento diferentes a las definitivas (por ejemplo, cajón abierto frente a cerrado). Además, los elementos auxiliares de construcción pueden añadir superficies adicionales a tener en cuenta.

El empuje del viento sobre cualquier elemento se calculará mediante la expresión:

$$F_w = \left[\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2(T)\right] \cdot C_e(Z) \cdot C_f \cdot A_{ref}$$

siendo:

- F_w empuje horizontal del viento [N]
- $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2(T)$ presión de la velocidad básica del viento q_b [N/m²]
- ρ densidad del aire, que se tomará igual a 1,25 kg/m³
- $V_b(T)$ velocidad básica del viento [m/s] para un periodo de retorno T
- C_f coeficiente de fuerza del elemento considerado (figura 3)
- A_{ref} área de referencia, que se obtendrá como la proyección del área sólida expuesta sobre el plano perpendicular a la dirección del viento [m²]
- $C_e(Z)$ coeficiente de exposición en función de la altura Z calculado según la fórmula siguiente:

$$C_e(Z) = K_r^2[C_o^2 \cdot \ln^2\left(\frac{Z}{Z_0}\right) + 7K_l \cdot C_0 \cdot \ln(\frac{Z}{Z_0})] \quad para\ Z\ \geq\ Z_{min}$$

$$C_e(Z) = C_e(Z_{min}) \qquad para\ Z < Z_{min}$$

donde:

- K_l factor de turbulencia, que se tomará igual a 1,0

El empuje del viento se aplicará sobre el centro de gravedad del área de referencia del elemento A_{ref}.

Se supondrá que el efecto de la sobrecarga de uso equivale a un área expuesta cuya altura se considerará igual a:

- 2 m en puentes de carretera
- **1,25 m en pasarelas**

Dichas alturas se medirán desde la superficie del pavimento y se tendrán en cuenta para el cálculo tanto el coeficiente de fuerza, como el área. En el caso de coexistir distintos tipos de carga sólo se considerará la de altura más desfavorable.

Siempre que el viento actúe simultáneamente con las sobrecargas de uso, el valor resultante de la fuerza equivalente del viento se combinará con el resto afectado por los correspondientes factores de simultaneidad Ψ, y deberá aplicarse sobre la longitud ocupada por vehículos que resulte más desfavorable, independientemente de la zona de aplicación de las acciones verticales debidas a la propia sobrecarga de uso.

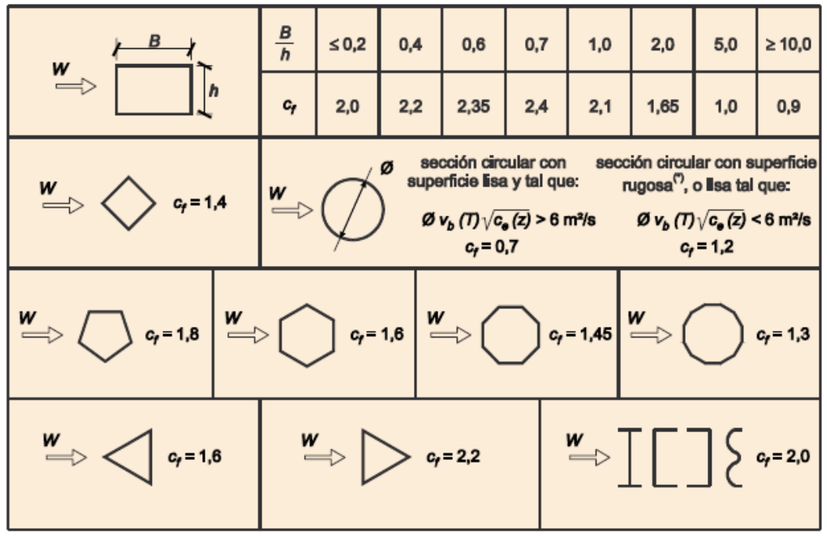


Figura 7 Coeficientes de forma. Fuente IAP-11

4.3.2.4 Dirección del viento

Figura 8 Coeficiente de fuerza c_f para las secciones más habituales

Para evaluar la acción del viento sobre la estructura se considerará su actuación en dos direcciones:

- Perpendicular al eje del tablero: dirección transversal (X). Esta componente podrá ir acompañada de una componente asociada en dirección vertical (Z).
- Paralela al eje del tablero: dirección longitudinal (Y).

En general, se considerará que la acción del viento en las direcciones transversal y longitudinal no es concomitante. La componente vertical del viento, dirección Z, se considerará concomitante sólo con la dirección transversal del viento.

4.3.2.5 Empuje del viento sobre el tablero

a) Empuje horizontal

En nuestro caso, el tablero se clasifica como tablero de alma llena cuya altura equivalente es:

- Hipótesis con SCU

$$h_{eq} = 0{,}45 + 1{,}25 = 1{,}7\ m \quad Para\ el\ tablero\ del\ tramo\ principal$$

$$h_{eq} = 0{,}7 + 1{,}25 = 1{,}95\ m \quad Para\ el\ tablero\ de\ los\ tramos\ de\ acceso$$

- Hipótesis sin SCU

$$h_{eq} = 0{,}8\ m \quad Para\ el\ tablero\ del\ tramo\ principal$$

$$h_{eq} = 0{,}7\ mPara\ el\ tablero\ de\ los\ tramos\ de\ acceso$$

Por otro lado, el coeficiente de fuerza en la dirección X (perpendicular al tablero), se obtiene mediante la expresión:

$$C_{f,y} = 2{,}5 - 0{,}3 \cdot \left(\frac{B}{h_{eq}}\right)$$

Donde B es la anchura total del tablero, que en nuestro caso es igual a 6,2 y 4,7 m para el tablero del tramo principal y de acceso respectivamente.

b) Empuje vertical

En el caso del empuje en la dirección vertical (Z), se tomará un coeficiente de fuerza de 0,9 y un área de referencia igual al área en planta del tablero, según el apartado 4.2.5.1.2 de la IAP-11.

Con estos datos, se obtiene unos valores del empuje transversal y vertical de:

Tabla 5 Empuje transversal (x) y vertical (z) del viento. Hipótesis con SCU

ELEMENTO	Z [m]	Ce	Cf	Aref [m2]	Fw [KN]	DIRECCIÓN
TAB. TRAMO ACCESO	6.25	2.06	1.78	58.50	97.82	Trans. X
	6.25	2.06	0.90	141.00	119.21	Vertical. Z
TAB. TRAMO PRINCIPAL	8.50	2.25	1.41	98.60	142.53	Trans. X
	8.50	2.25	0.90	360.00	332.16	Vertical. Z

Tabla 6.Empuje transversal (x) y vertical (z) del viento. Hipótesis sin SCU

ELEMENTO	Z [m]	Ce	Cf	Aref [m2]	Fw [KN]	DIRECCIÓN
TAB. TRAMO ACCESO	6.25	2.06	1.30	21.00	25.65	Trans. X
	6.25	2.06	0.90	141.00	119.21	Vertical. Z
TAB. TRAMO PRINCIPAL	8.50	2.25	1.30	46.50	61.97	Trans. X
	8.50	2.25	0.90	360.00	332.16	Vertical. Z

c) Momento de vuelco sobre el tablero

El momento de vuelco ejercido por la acción combinada de los empujes transversales y verticales se calculará teniendo en cuenta que el primero está aplicado a una altura correspondiente al 60% de la altura equivalente (con o sin sobrecarga) a partir de la base del tablero, y que el segundo actúa a una distancia de un cuarto de la anchura total del tablero, medida desde el borde del mismo.

El momento resultante, actuando en el centro de gravedad de la sección transversal del tablero, es igual a:

$$Mx = F_{w,z} \cdot \frac{B}{4} + F_{w,x} \cdot \left(0{,}6 \cdot H_{eq} - H'\right)$$

Donde H' es la altura desde la base del tablero hasta el centro de gravedad de la sección.

Tabla 7 Momento de vuelco del tablero debido al empuje del viento

ELEMENTO	heq [m]	h` [m]	B [m]	Fw,x [KN]	Fw,z [KN]	Mx [KNm]
TAB. TRAMO ACCESO	1.95	0.3	4.7	97.82	119.21	225.17
	0.7	0.3	4.7	25.65	119.21	143.15
TAB. TRAMO PRINCIPAL	1.7	0.25	6.2	142.53	332.16	624.60
	0.8	0.25	6.2	61.97	332.16	529.10

d) Empuje longitudinal

Según el apartado 4.2.5.2 de la IAP-11, el empuje del viento correspondiente a la dirección longitudinal del tablero, se corresponde con una fracción del empuje transversal del 25% para elementos sólidos, multiplicado por un coeficiente reductor (η), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 8 Empuje longitudinal (y) del viento. Hipótesis con SCU

ELEMENTO	L [m]	α	Φ[L/L(z)]	η	Fw [KN]	DIRECCIÓN
TAB. TRAMO ACCESO	30.00	0.52	0.14	0.92	22.44	Long. Y
TAB. TRAMO PRINCIPAL	58.00	0.52	0.23	0.87	30.91	Long. Y

Tabla 9 Empuje longitudinal (y) del viento. Hipótesis sin SCU

ELEMENTO	L [m]	α	Φ[L/L(z)]	η	Fw [KN]	DIRECCIÓN
TAB. TRAMO ACCESO	30.00	0.52	0.14	0.92	5.88	Long. Y
TAB. TRAMO PRINCIPAL	58.00	0.52	0.23	0.87	13..4	Long. Y

4.3.2.6 Empuje del viento sobre pilas

Debido a que la pila de la pasarela presenta cambios seccionales a lo largo de su altura, se ha dividido ésta en tramos de sección constante o similar (véase la Figura 2), obteniéndose un valor del empuje horizontal del viento para cada tramo.

Tabla 10 Empuje horizontal del viento sobre el pilono

ELEMENTO	Z [m]	Ce	Cf	Aref [m2]	Fw [KN]	DIRECCIÓN
PILA-BASE	1.00	1.42	2.00	1.50	1.95	Trans. X
	1.00	1.42	2.00	3.40	4.41	Long. Y
PILA BAJO TAB.	4.25	1.84	1.60	5.40	7.22	Trans. X
	4.25	1.84	1.60	6.50	8.70	Long. Y
PILA-RIOSTRA	8.00	2.21	2.00	0.40	0.81	Trans. X
	8.00	2.21	2.00	4.50	9.07	Long. Y
PILA SOBRE TAB.	13.00	2.52	1.60	10.80	19.85	Trans. X
	13.00	2.52	1.60	13.50	24.82	Long. Y
PILA-ANCLAJE	21.50	2.86	2.00	6.00	15.64	Trans. X
	21.50	2.86	2.00	7.50	19.54	Long. Y

4.3.3 Acción térmica

4.3.3.1 Acción térmica en tableros

Debido a que la losa de hormigón no se ha considerado en el cálculo por no ser significativa respecto a la resistencia de la sección, la clasificación del tablero, según el apartado 4.3.1 de la IAP-11, es **TIPO I,** tablero de acero con sección transversal en cajón.

a) Temperatura máxima y mínima del aire

El valor característico de la temperatura máxima del aire a la sombra $T_{max,}$ dependerá del clima del lugar y de la altitud. En nuestro caso, Sueca se encuentra en la zona cuyo **intervalo es de 44 a 46 ºC**

Por otro lado, el valor característico de la temperatura mínima del aire a la sombra $T_{min,}$ se tomará, para un periodo de retorno de 50 años, se tomará el que se deduce de la tabla 4.3-a de la IAP-11, cuyo valor depende de la altitud y zona invernal del emplazamiento. Puesto que Sueca se encuentra prácticamente a nivel del mar, y en la **ZONA 5**, se obtiene una **temperatura mínima de -5 ºC.**

Por último, el valor de la temperatura máxima y mínima del aire para un periodo de retorno de 100 años, se obtiene de la siguiente expresión:

$$Tmax, 100 = Tmax\{k_1 - k_2 \cdot \ln(-\ln(1-p)) = 47{,}8\ ºC$$

$$Tmin, 100 = Tmax\{k_3 + k_4 \cdot \ln(-\ln(1-p)) = -5{,}6ºC$$

Siendo:

- $k_1 = 0{,}781; k_2 = 0{,}056; k_3 = 0{,}393\ y\ k_4 = -0.156$
- p el inverso del periodo de retorno: $p = \frac{1}{100} = 0{,}01$

b) Componente uniforme de temperatura

La componente uniforme de la temperatura del tablero depende de la temperatura característica mínima y máxima y de un incremento de temperatura, que para un tablero mixto (tipo I), son de **-3 ºC y +16 ºC** respectivamente.

$$T_{e,min} = T_{min} + \Delta T_{e,min} = -8{,}6\ ºC$$

$$T_{e,max} = T_{max} + \Delta T_{e,max} = 63{,}8\ ºC$$

c) Rango de la componente uniforme de temperatura

El rango de variación de la componente uniforme de la temperatura es:

$$\Delta T_N = T_{e,max} - T_{e,min} = 72{,}4\ ºC$$

Por otro lado, el valor característico de la máxima variación de la componente uniforme de temperatura en contracción y dilatación será, respectivamente:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 15 - (-8{,}6) = 23{,}6\ ºC$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 63{,}8 - 15 = 48{,}8\ ºC$$

Siendo T_0 la temperatura la temperatura media en el momento en que se coacciona el movimiento, que se tomará igual a **15 ºC**

d) Componente de la diferencia de temperatura

- Diferencia vertical

Para tablero tipo I, como es el caso, los valores de las componentes de la diferencia de temperatura en la fibra superior más caliente y en la fibra inferior más fría respectivamente, son:

$$\Delta T_{M,heat} = 18\ ºC\ ;\ \Delta T_{M,cool} = -13\ ºC$$

Estos valores se ven influenciados por el espesor del pavimento que, en nuestro caso, considerando la losa de hormigón como tal, tiene un espesor de 150 mm, por lo que los valores finales, según los factores correctores de la tabla 4.3-e de la IAP-11, son:

$$\Delta T_{M,heat} = 18 \cdot 0{,}7 = 12{,}6\ ºC\ ;\ \Delta T_{M,cool} = -13 \cdot 1{,}2 = -15{,}6\ ºC$$

- Diferencia horizontal

Debido a que la pasarela se encuentra a la sombra de una rotonda en todas direcciones en sentido horizontal, el efecto de la variación de temperatura a ambos lados del tablero, es despreciable y por tanto no se ha tenido en cuenta en el cálculo.

e) Simultaneidad de la componente uniforme y de la diferencia de temperatura

Para tener en cuenta la acción simultánea de la componente uniforme y el gradiente de temperatura, ambas componentes se combinarán de la siguiente manera, resultando un total de 8 combinaciones posibles.

$$\Delta T_M + 0{,}35 \cdot \Delta T_N$$

$$0{,}75 \cdot \Delta T_M + \Delta T_N$$

4.3.3.2 Acción térmica en pilas

Se considerará una diferencia lineal de temperatura entre caras extremas opuestas de 5ºC

4.3.3.3 Diferencia de temperatura uniforme entre elementos estructurales

a) Diferencias en puentes con tirantes o péndolas

Se considerará una diferencia de temperatura de los tirantes respecto al resto de elementos (tablero y pilono) de valor:

- Diferencia positiva: $T_{tirantes} - T_{resto\ puente} = +20ºC$
- Diferencia negativa: $T_{tirantes} - T_{resto\ puente} = -10\ ºC$

Debido a que el tablero es metálico y el pilono de hormigón, las diferencias anteriores se aplicarán únicamente entre los tirantes y el elemento cuya variación térmica sea mentor, es decir, el pilono.

b) Diferencias en puentes con arcos o pilonos

Se supondrá una |diferencia de temperatura entre el pilono y el tablero superior a 15ºC, es decir:

$$\left|T_{pilono} - T_{tablero}\right| \geq 15ºC$$

4.4 ACCIONES ACCIDENTALES (A)

4.4.1 Impactos

Debido a que se pretende disponer defensas rígidas que imposibilitarán el impacto de vehículos contra cualquier elemento estructural de la pasarela, no se ha considerado esta acción en el cálculo.

4.4.2 Acción sísmica (A_E)

La acción sísmica se obtiene de la Norma de Construcción Sismorresistente de Puentes (NCSP-07).

Según el apartado 2.8 de la norma, será necesario tener en cuenta la acción sísmica siempre que se cumplan los siguientes criterios:

$$a_b \geq 0{,}04 \cdot g; a_c \geq 0{,}04 \cdot g$$

Como se expone más adelante, dichos criterios se cumplen y por tanto es necesario considerar la acción sísmica.

4.4.2.1 Caracterización del terreno

Según el apartado 3.2, el terreno de cimentación de la obra proyectada se corresponde con el TIPO IV, por lo que el coeficiente "C" del terreno tiene un valor de **2**

4.4.2.2 Aceleración sísmica básica (a_b)

Para el término municipal de Sueca, se obtiene una **aceleración sísmica básica de 0,07g** y un **coeficiente de contribución (K) de 1**

4.4.2.3 Aceleración sísmica horizontal de cálculo (a_c)

Según lo expuesto en el apartado 3.4, para un **periodo de retorno de 100 años** y un **factor de importancia (γI) de 1**, se obtienen los siguientes valores:

Tabla 11 Aceleración sísmica horizontal de cálculo

S	ρ	ac [m/s2]
1.6	0.53	0.58

4.4.2.4 Espectro de respuesta elástica

El espectro de aceleraciones se obtiene según lo indicado en el apartado 3.5.1.

Para un **índice de amortiguamiento (ζ) del 4%,** habitual en puentes de acero y mixtos bajo la acción del sismo último de cálculo, el espectro viene delimitado por los periodos:

Tabla 12 Periodos que delimitan el espectro de aceleraciones

TA [s]	TB [s]	TC [s]
0.2	0.8	4

Con estos valores, el espectro de aceleraciones Sa(T) resultante es el siguiente:

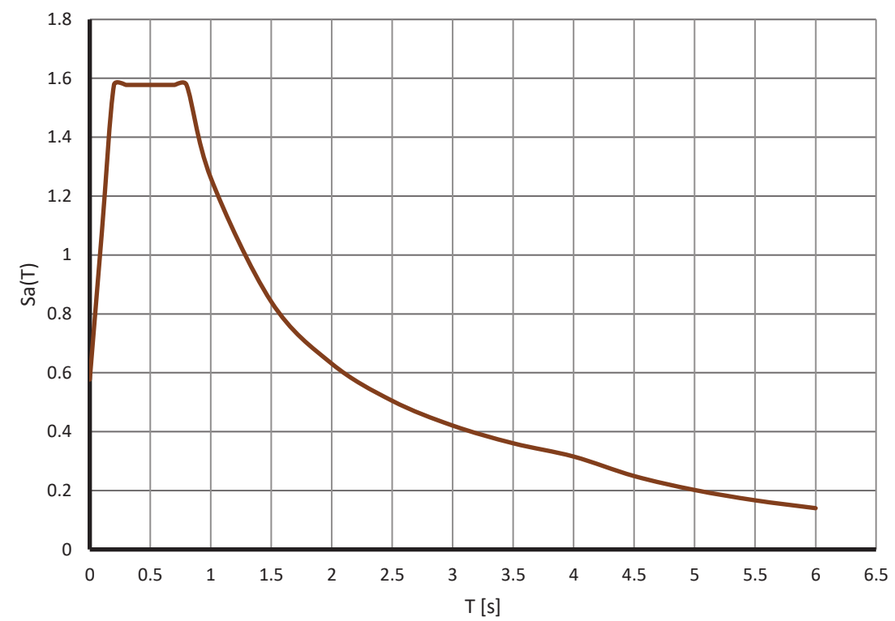


Figura 9 Espectro de aceleraciones en función del periodo T en segundos

Este diagrama se introducirá en el modelo estructural para realizar el análisis modal espectral correspondiente, considerando un número de modos de vibración que movilice, al menos, el 90% de la masa e incluya todos aquellos que movilicen más de un 5%.

La combinación de los resultados cuyos periodos difieran más de un 10%, se llevará a cabo mediante la expresión:

$$S = \sqrt{\sum S_i^2}$$

Donde S representa los resultados individuales.

5. MODELOS DE CÁLCULO

5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Los modelos estructurales se han diseñado con elementos tipo barra conectados entre sí mediante nudos.

El trazado de las barras sigue la línea de referencia que une los centros de gravedad de las secciones, y se ha asignado a cada una la sección real del elemento que representa.

Los nudos permiten compatibilizar el desplazamiento y rotación en cualquier dirección y representan los apoyos del tablero y empotramiento del pilono mediante restricciones en sus grados de libertad.

5.1.1 Tramos de acceso

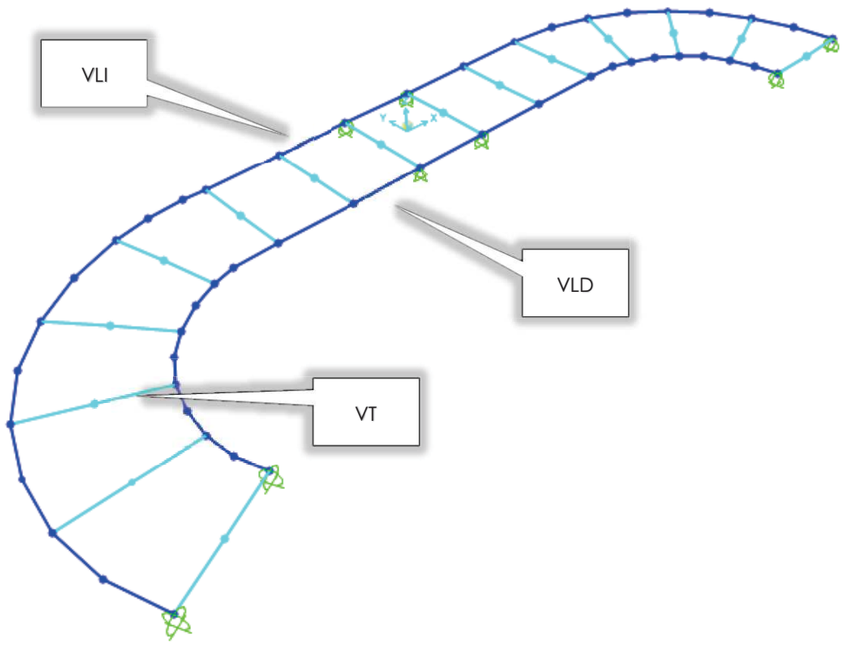


Figura 10 Modelo estructural de los tramos de acceso

5.1.2 Tramo principal

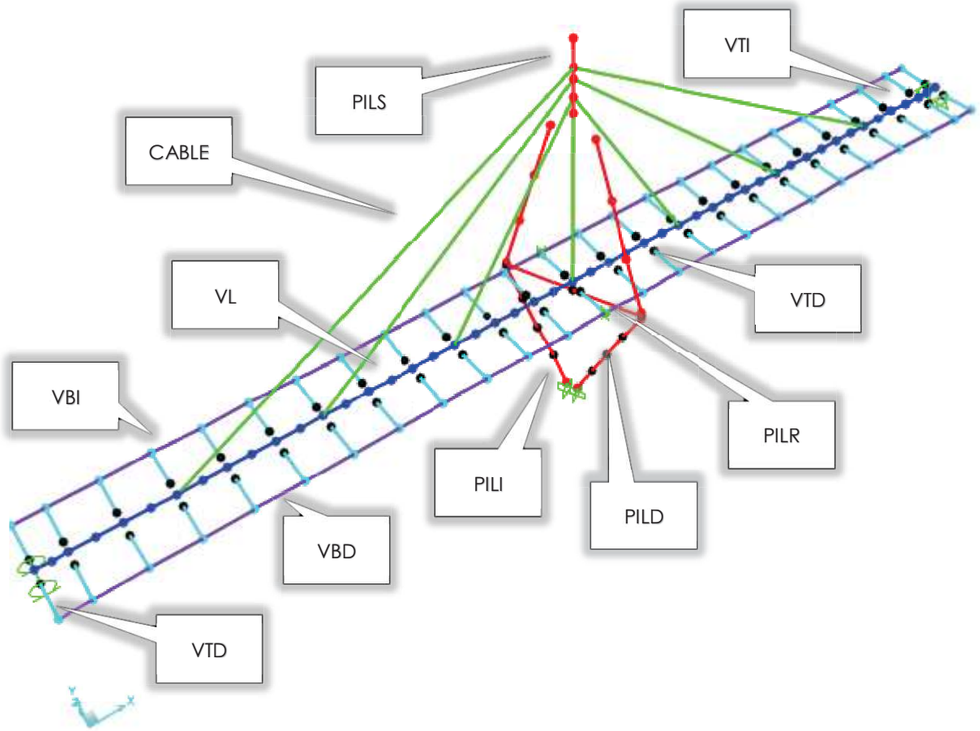


Figura 11 Modelo estructural del tramo principal

El modelo incluye cinco grupos de elementos:

- Vigas de borde (VB) en color morado Viga Longitudinal (VL) en azul, Vigas Transversales (VT) en cian, Cables (CABLE) en verde y Pilono (PIL) en color rojo.

5.2 COORDENADAS DE NUDOS Y COACCIONES

Tabla 13 Coordenadas de los nudos del tramo de acceso

NUDO	X [m]	Y [m]	Z [m]	NUDO	X [m]	Y [m]	Z [m]
JVT_001	-12.17	-8.57	0.00	JVLD_023	-1.02	-1.74	0.00
JVT_002	-12.74	-6.09	0.00	JVLD_024	0.23	-1.74	0.00
JVT_003	12.75	-6.00	0.00	JVLD_025	1.48	-1.74	0.00
JVT_004	12.28	-3.68	0.00	JVLD_026	2.73	-1.74	0.00
JVT_005	-12.24	-3.59	0.00	JVLD_027	3.98	-1.74	0.00
JVT_006	10.96	-1.73	0.00	JVLD_028	5.23	-1.74	0.00
JVT_007	-10.75	-1.53	0.00	JVLD_029	6.48	-1.74	0.00
JVT_008	8.98	-0.43	0.00	JVLI_001	-13.74	-9.31	0.00
JVT_009	-8.53	-0.28	0.00	JVLI_002	-14.29	-7.74	0.00
JVT_010	-6.02	0.00	0.00	JVLI_003	-14.48	-6.09	0.00
JVT_011	-3.52	0.00	0.00	JVLI_004	14.49	-6.00	0.00
JVT_012	-1.02	0.00	0.00	JVLI_005	14.34	-4.49	0.00
JVT_013	1.48	0.00	0.00	JVLI_006	-14.32	-4.44	0.00
JVT_014	3.98	0.00	0.00	JVLI_007	13.89	-3.04	0.00
JVT_015	6.48	0.00	0.00	JVLI_008	-13.81	-2.86	0.00
JVLD_001	-10.60	-7.82	0.00	JVLI_009	13.18	-1.70	0.00
JVLD_002	-10.90	-6.98	0.00	JVLI_010	-12.97	-1.42	0.00
JVLD_003	-11.01	-6.08	0.00	JVLI_011	12.21	-0.53	0.00
JVLD_004	11.01	-6.00	0.00	JVLI_012	-11.85	-0.20	0.00
JVLD_005	-10.93	-5.19	0.00	JVLI_013	11.04	0.43	0.00
JVLD_006	10.93	-5.15	0.00	JVLI_014	-10.50	0.76	0.00
JVLD_007	-10.67	-4.33	0.00	JVLI_015	9.70	1.15	0.00
JVLD_008	10.67	-4.33	0.00	JVLI_016	-8.97	1.41	0.00
JVLD_009	10.25	-3.57	0.00	JVLI_017	8.26	1.59	0.00
JVLD_010	-10.23	-3.55	0.00	JVLI_018	-7.87	1.65	0.00
JVLD_011	9.70	-2.92	0.00	JVLI_019	-6.75	1.74	0.00
JVLD_012	-9.64	-2.87	0.00	JVLI_020	-6.02	1.74	0.00
JVLD_013	9.02	-2.39	0.00	JVLI_021	-4.77	1.74	0.00
JVLD_014	-8.92	-2.33	0.00	JVLI_022	-3.52	1.74	0.00
JVLD_015	8.25	-2.01	0.00	JVLI_023	-2.27	1.74	0.00
JVLD_016	-8.10	-1.96	0.00	JVLI_024	-1.02	1.74	0.00
JVLD_017	7.51	-1.81	0.00	JVLI_025	0.23	1.74	0.00
JVLD_018	-7.43	-1.79	0.00	JVLI_026	1.48	1.74	0.00
JVLD_019	-6.02	-1.74	0.00	JVLI_027	2.73	1.74	0.00
JVLD_020	-4.77	-1.74	0.00	JVLI_028	3.98	1.74	0.00
JVLD_021	-3.52	-1.74	0.00	JVLI_029	5.23	1.74	0.00
JVLD_022	-2.27	-1.74	0.00	JVLI_030	6.48	1.74	0.00

Tabla 14 Restricción de los nudos del tramo de acceso

NUDO	U1	U2	U3	R1	R2	R3
JVLD_001	No	No	Si	No	No	No
JVLD_004	No	No	Si	No	No	No
JVLD_023	Si	Si	Si	No	No	No
JVLD_025	No	Si	Si	No	No	No
JVLI_001	No	No	Si	No	No	No
JVLI_004	No	No	Si	No	No	No
JVLI_024	No	No	Si	No	No	No
JVLI_026	No	No	Si	No	No	No

Tabla 15 Coordenadas de los nudos del tramo principal

NUDO	X [m]	Y [m]	Z [m]	NUDO	X [m]	Y [m]	Z [m]
JVL_001	1	2.875	8.5171	JVTD_046	55	2.12518	8.42903
JVL_002	1.75	2.875	8.5171	JVTD_047	57.5	0	8.4857
JVL_003	2.5	2.875	8.5171	JVTD_048	57.5	2.12518	8.42903
JVL_004	3.75	2.875	8.5171	JVTD_049	59	0	8.4857
JVL_005	5	2.875	8.5171	JVTD_050	59	2.12518	8.42903
JVL_006	6.25	2.875	8.5171	JVTI_001	1	3.62482	8.42903
JVL_008	8.75	2.875	8.5171	JVTI_002	1	5.75	8.4857
JVL_009	10	2.875	8.5171	JVTI_003	2.5	3.62482	8.42903
JVL_010	11.25	2.875	8.5171	JVTI_004	2.5	5.75	8.4857
JVL_011	12.5	2.875	8.5171	JVTI_005	5	3.62482	8.42903
JVL_012	13.75	2.875	8.5171	JVTI_006	5	5.75	8.4857
JVL_014	16.25	2.875	8.5171	JVTI_007	7.5	3.62482	8.42903
JVL_015	17.5	2.875	8.5171	JVTI_008	7.5	5.75	8.4857
JVL_016	18.75	2.875	8.5171	JVTI_009	10	3.62482	8.42903

JVL_017	20	2.875	8.5171
JVL_018	21.25	2.875	8.5171
JVL_020	23.75	2.875	8.5171
JVL_021	25	2.875	8.5171
JVL_022	26.25	2.875	8.5171
JVL_023	27.5	2.875	8.5171
JVL_024	28.75	2.875	8.5171
JVL_026	31.25	2.875	8.5171
JVL_027	32.5	2.875	8.5171
JVL_028	33.75	2.875	8.5171
JVL_029	35	2.875	8.5171
JVL_030	36.25	2.875	8.5171
JVL_032	38.75	2.875	8.5171
JVL_033	40	2.875	8.5171
JVL_034	41.25	2.875	8.5171
JVL_035	42.5	2.875	8.5171
JVL_036	43.75	2.875	8.5171
JVL_038	46.25	2.875	8.5171
JVL_039	47.5	2.875	8.5171
JVL_040	48.75	2.875	8.5171
JVL_041	50	2.875	8.5171
JVL_042	51.25	2.875	8.5171
JVL_044	53.75	2.875	8.5171
JVL_045	55	2.875	8.5171
JVL_046	56.25	2.875	8.5171
JVL_047	57.5	2.875	8.5171
JVL_048	58.25	2.875	8.5171
JVL_049	59	2.875	8.5171
JVTD_001	1	0	8.4857
JVTD_002	1	2.12518	8.42903
JVTD_003	2.5	0	8.4857
JVTD_004	2.5	2.12518	8.42903
JVTD_005	5	0	8.4857
JVTD_006	5	2.12518	8.42903
JVTD_007	7.5	0	8.4857
JVTD_008	7.5	2.12518	8.42903

JVTI_010	10	5.75	8.4857
JVTI_011	12.5	3.62482	8.42903
JVTI_012	12.5	5.75	8.4857
JVTI_013	15	3.62482	8.42903
JVTI_014	15	5.75	8.4857
JVTI_015	17.5	3.62482	8.42903
JVTI_016	17.5	5.75	8.4857
JVTI_017	20	3.62482	8.42903
JVTI_018	20	5.75	8.4857
JVTI_019	22.5	3.62482	8.42903
JVTI_020	22.5	5.75	8.4857
JVTI_021	25	3.62482	8.42903
JVTI_022	25	5.75	8.4857
JVTI_023	27.5	3.62482	8.42903
JVTI_024	27.5	5.75	8.4857
JVTI_025	30	3.62482	8.42903
JVTI_026	30	5.75	8.4857
JVTI_027	32.5	3.62482	8.42903
JVTI_028	32.5	5.75	8.4857
JVTI_029	35	3.62482	8.42903
JVTI_030	35	5.75	8.4857
JVTI_031	37.5	3.62482	8.42903
JVTI_032	37.5	5.75	8.4857
JVTI_033	40	3.62482	8.42903
JVTI_034	40	5.75	8.4857
JVTI_035	42.5	3.62482	8.42903
JVTI_036	42.5	5.75	8.4857
JVTI_037	45	3.62482	8.42903
JVTI_038	45	5.75	8.4857
JVTI_039	47.5	3.62482	8.42903
JVTI_040	47.5	5.75	8.4857
JVTI_041	50	3.62482	8.42903
JVTI_042	50	5.75	8.4857
JVTI_043	52.5	3.62482	8.42903
JVTI_044	52.5	5.75	8.4857
JVTI_045	55	3.62482	8.42903

JVTD_009	10	0	8.4857
JVTD_010	10	2.12518	8.42903
JVTD_011	12.5	0	8.4857
JVTD_012	12.5	2.12518	8.42903
JVTD_013	15	0	8.4857
JVTD_014	15	2.12518	8.42903
JVTD_015	17.5	0	8.4857
JVTD_016	17.5	2.12518	8.42903
JVTD_017	20	0	8.4857
JVTD_018	20	2.12518	8.42903
JVTD_019	22.5	0	8.4857
JVTD_020	22.5	2.12518	8.42903
JVTD_021	25	0	8.4857
JVTD_022	25	2.12518	8.42903
JVTD_023	27.5	0	8.4857
JVTD_024	27.5	2.12518	8.42903
JVTD_025	30	0	8.4857
JVTD_026	30	2.12518	8.42903
JVTD_027	32.5	0	8.4857
JVTD_028	32.5	2.12518	8.42903
JVTD_029	35	0	8.4857
JVTD_030	35	2.12518	8.42903
JVTD_031	37.5	0	8.4857
JVTD_032	37.5	2.12518	8.42903
JVTD_033	40	0	8.4857
JVTD_034	40	2.12518	8.42903
JVTD_035	42.5	0	8.4857
JVTD_036	42.5	2.12518	8.42903
JVTD_037	45	0	8.4857
JVTD_038	45	2.12518	8.42903
JVTD_039	47.5	0	8.4857
JVTD_040	47.5	2.12518	8.42903
JVTD_041	50	0	8.4857
JVTD_042	50	2.12518	8.42903
JVTD_043	52.5	0	8.4857
JVTD_044	52.5	2.12518	8.42903

JVTI_046	55	5.75	8.4857
JVTI_047	57.5	3.62482	8.42903
JVTI_048	57.5	5.75	8.4857
JVTI_049	59	3.62482	8.42903
JVTI_050	59	5.75	8.4857
JPILD_001	30.14754	2.55861	0
JPILD_002	30.54284	1.71087	1.91678
JPILD_003	30.93815	0.86313	3.83355
JPILD_004	31.33346	0.0154	5.75033
JPILD_005	31.72876	-0.83234	7.6671
JPILD_006	31.72893	-0.83271	8.167
JPILD_007	31.32311	0.03758	11.6665
JPILD_008	30.91729	0.90786	15.166
JPILD_009	30.51147	1.77814	18.6655
JPILI_001	29.85246	3.19139	0
JPILI_002	29.45716	4.03913	1.91678
JPILI_003	29.06185	4.88687	3.83355
JPILI_004	28.66654	5.7346	5.75033
JPILI_005	28.27124	6.58234	7.6671
JPILI_006	28.27107	6.58271	8.167
JPILI_007	28.67689	5.71242	11.6665
JPILI_008	29.08271	4.84214	15.166
JPILI_009	29.48853	3.97186	18.6655
JPILR_001	31.72876	-0.83234	7.9171
JPILR_002	30	2.875	7.9171
JPILR_003	28.27124	6.58234	7.9171
JPILS_001	30	2.875	19.766
JPILS_002	30	2.875	20.7135
JPILS_003	30	2.875	21.7573
JPILS_004	30	2.875	22.444
JPILS_005	30	2.875	24.0136
JCABLE_VL_1	7.5	2.875	8.5171
JCABLE_VL_2	15	2.875	8.5171
JCABLE_VL_3	22.5	2.875	8.5171
JCABLE_VL_4	30	2.875	8.5171
JCABLE_VL_5	37.5	2.875	8.5171

JVTD_045	55	0	8.4857	JCABLE_VL_6	45	2.875	8.5171
				JCABLE_VL_7	52.5	2.875	8.5171

Tabla 16 Restricción de los nudos del tramo principal

NUDO	U1	U2	U3	R1	R2	R3
JVTD_002	No	Si	Si	No	No	No
JVTD_025	No	Si	No	No	No	No
JVTD_050	No	Si	Si	No	No	No
JVTI_001	No	Si	Si	No	No	No
JVTI_026	No	Si	No	No	No	No
JVTI_049	No	Si	Si	No	No	No
JPILD_001	Si	Si	Si	Si	Si	Si
JPILI_001	Si	Si	Si	Si	Si	Si

5.3 DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS

Tabla 17 Definición de las barras del modelo del tramo de acceso

BARRA	NUDO,I	NUDO,F	LONG.	BARRA	NUDO,I	NUDO,F	LONG.
VLD_001	JVLD_001	JVLD_002	0.90	VLI_017	JVLI_025	JVLI_026	1.25
VLD_002	JVLD_002	JVLD_003	0.90	VLI_018	JVLI_026	JVLI_027	1.25
VLD_003	JVLD_003	JVLD_005	0.90	VLI_019	JVLI_027	JVLI_028	1.25
VLD_004	JVLD_005	JVLD_007	0.90	VLI_020	JVLI_028	JVLI_029	1.25
VLD_005	JVLD_007	JVLD_010	0.90	VLI_021	JVLI_029	JVLI_030	1.25
VLD_006	JVLD_010	JVLD_012	0.90	VLI_022	JVLI_030	JVLI_017	1.78
VLD_007	JVLD_012	JVLD_014	0.90	VLI_023	JVLI_017	JVLI_015	1.51
VLD_008	JVLD_014	JVLD_016	0.90	VLI_024	JVLI_015	JVLI_013	1.52
VLD_009	JVLD_016	JVLD_018	0.69	VLI_025	JVLI_013	JVLI_011	1.52
VLD_010	JVLD_018	JVLD_019	1.41	VLI_026	JVLI_011	JVLI_009	1.52
VLD_011	JVLD_019	JVLD_020	1.25	VLI_027	JVLI_009	JVLI_007	1.52
VLD_012	JVLD_020	JVLD_021	1.25	VLI_028	JVLI_007	JVLI_005	1.52
VLD_013	JVLD_021	JVLD_022	1.25	VLI_029	JVLI_005	JVLI_004	1.52
VLD_014	JVLD_022	JVLD_023	1.25	VT_001	JVLI_001	JVT_001	1.74
VLD_015	JVLD_023	JVLD_024	1.25	VT_002	JVT_001	JVLD_001	1.74
VLD_016	JVLD_024	JVLD_025	1.25	VT_003	JVLI_003	JVT_002	1.74
VLD_017	JVLD_025	JVLD_026	1.25	VT_004	JVT_002	JVLD_003	1.74
VLD_018	JVLD_026	JVLD_027	1.25	VT_005	JVT_003	JVLD_004	1.74
VLD_019	JVLD_027	JVLD_028	1.25	VT_006	JVLI_004	JVT_003	1.74
VLD_020	JVLD_028	JVLD_029	1.25	VT_007	JVT_004	JVLD_008	1.74
VLD_021	JVLD_029	JVLD_017	1.04	VT_008	JVT_005	JVLD_007	1.74
VLD_022	JVLD_017	JVLD_015	0.76	VT_009	JVLI_007	JVT_004	1.74
VLD_023	JVLD_015	JVLD_013	0.86	VT_010	JVLI_008	JVT_005	1.74
VLD_024	JVLD_013	JVLD_011	0.86	VT_011	JVT_006	JVLD_011	1.74
VLD_025	JVLD_011	JVLD_009	0.86	VT_012	JVT_007	JVLD_012	1.74
VLD_026	JVLD_009	JVLD_008	0.86	VT_013	JVT_008	JVLD_015	1.74
VLD_027	JVLD_008	JVLD_006	0.86	VT_014	JVLI_011	JVT_006	1.74
VLD_028	JVLD_006	JVLD_004	0.86	VT_015	JVT_009	JVLD_016	1.74
VLI_001	JVLI_001	JVLI_002	1.66	VT_016	JVT_010	JVLD_019	1.74
VLI_002	JVLI_002	JVLI_003	1.66	VT_017	JVT_011	JVLD_021	1.74
VLI_003	JVLI_003	JVLI_006	1.66	VT_018	JVT_012	JVLD_023	1.74
VLI_004	JVLI_006	JVLI_008	1.66	VT_019	JVT_013	JVLD_025	1.74
VLI_005	JVLI_008	JVLI_010	1.66	VT_020	JVT_014	JVLD_027	1.74
VLI_006	JVLI_010	JVLI_012	1.66	VT_021	JVT_015	JVLD_029	1.74
VLI_007	JVLI_012	JVLI_014	1.66	VT_022	JVLI_012	JVT_007	1.74
VLI_008	JVLI_014	JVLI_016	1.66	VT_023	JVLI_015	JVT_008	1.74
VLI_009	JVLI_016	JVLI_018	1.12	VT_024	JVLI_016	JVT_009	1.74
VLI_010	JVLI_018	JVLI_019	1.12	VT_025	JVLI_020	JVT_010	1.74
VLI_011	JVLI_019	JVLI_020	0.73	VT_026	JVLI_022	JVT_011	1.74
VLI_012	JVLI_020	JVLI_021	1.25	VT_027	JVLI_024	JVT_012	1.74
VLI_013	JVLI_021	JVLI_022	1.25	VT_028	JVLI_026	JVT_013	1.74
VLI_014	JVLI_022	JVLI_023	1.25	VT_029	JVLI_028	JVT_014	1.74
VLI_015	JVLI_023	JVLI_024	1.25	VT_030	JVLI_030	JVT_015	1.74
VLI_016	JVLI_024	JVLI_025	1.25				

Tabla 18 Definición de las barras del modelo del tramo principal

BARRA	NUDO,I	NUDO,F	LONG. [m]	BARRA	NUDO,I	NUDO,F	LONG. [m]
VL_001	JVL_001	JVL_002	0.8	VBI_010	JVTI_022	JVTI_020	2.5
VL_002	JVL_002	JVL_003	0.8	VBI_011	JVTI_024	JVTI_022	2.5
VL_003	JVL_003	JVL_004	1.3	VBI_012	JVTI_026	JVTI_024	2.5

VL_004	JVL_004	JVL_005	1.3	VBI_013	JVTI_028	JVTI_026	2.5
VL_005	JVL_005	JVL_006	1.3	VBI_014	JVTI_030	JVTI_028	2.5
VL_006	JVL_006	JCABLE_VL_1	1.3	VBI_015	JVTI_032	JVTI_030	2.5
VL_007	JCABLE_VL_1	JVL_008	1.3	VBI_016	JVTI_034	JVTI_032	2.5
VL_008	JVL_008	JVL_009	1.3	VBI_017	JVTI_036	JVTI_034	2.5
VL_009	JVL_009	JVL_010	1.3	VBI_018	JVTI_038	JVTI_036	2.5
VL_010	JVL_010	JVL_011	1.3	VBI_019	JVTI_040	JVTI_038	2.5
VL_011	JVL_011	JVL_012	1.3	VBI_020	JVTI_042	JVTI_040	2.5
VL_012	JVL_012	JCABLE_VL_2	1.3	VBI_021	JVTI_044	JVTI_042	2.5
VL_013	JCABLE_VL_2	JVL_014	1.3	VBI_022	JVTI_046	JVTI_044	2.5
VL_014	JVL_014	JVL_015	1.3	VBI_023	JVTI_048	JVTI_046	2.5
VL_015	JVL_015	JVL_016	1.3	VBI_024	JVTI_050	JVTI_048	1.5
VL_016	JVL_016	JVL_017	1.3	VTD_001	JVTD_002	JVTD_001	2.1
VL_017	JVL_017	JVL_018	1.3	VTD_002	JVTD_004	JVTD_003	2.1
VL_018	JVL_018	JCABLE_VL_3	1.3	VTD_003	JVTD_006	JVTD_005	2.1
VL_019	JCABLE_VL_3	JVL_020	1.3	VTD_004	JVTD_008	JVTD_007	2.1
VL_020	JVL_020	JVL_021	1.3	VTD_005	JVTD_010	JVTD_009	2.1
VL_021	JVL_021	JVL_022	1.3	VTD_006	JVTD_012	JVTD_011	2.1
VL_022	JVL_022	JVL_023	1.3	VTD_007	JVTD_014	JVTD_013	2.1
VL_023	JVL_023	JVL_024	1.3	VTD_008	JVTD_016	JVTD_015	2.1
VL_024	JVL_024	JCABLE_VL_4	1.3	VTD_009	JVTD_018	JVTD_017	2.1
VL_025	JCABLE_VL_4	JVL_026	1.3	VTD_010	JVTD_020	JVTD_019	2.1
VL_026	JVL_026	JVL_027	1.3	VTD_011	JVTD_022	JVTD_021	2.1
VL_027	JVL_027	JVL_028	1.3	VTD_012	JVTD_024	JVTD_023	2.1
VL_028	JVL_028	JVL_029	1.3	VTD_013	JVTD_026	JVTD_025	2.1
VL_029	JVL_029	JVL_030	1.3	VTD_014	JVTD_028	JVTD_027	2.1
VL_030	JVL_030	JCABLE_VL_5	1.3	VTD_015	JVTD_030	JVTD_029	2.1
VL_031	JCABLE_VL_5	JVL_032	1.3	VTD_016	JVTD_032	JVTD_031	2.1
VL_032	JVL_032	JVL_033	1.3	VTD_017	JVTD_034	JVTD_033	2.1
VL_033	JVL_033	JVL_034	1.3	VTD_018	JVTD_036	JVTD_035	2.1
VL_034	JVL_034	JVL_035	1.3	VTD_019	JVTD_038	JVTD_037	2.1
VL_035	JVL_035	JVL_036	1.3	VTD_020	JVTD_040	JVTD_039	2.1
VL_036	JVL_036	JCABLE_VL_6	1.3	VTD_021	JVTD_042	JVTD_041	2.1
VL_037	JCABLE_VL_6	JVL_038	1.3	VTD_022	JVTD_044	JVTD_043	2.1
VL_038	JVL_038	JVL_039	1.3	VTD_023	JVTD_046	JVTD_045	2.1
VL_039	JVL_039	JVL_040	1.3	VTD_024	JVTD_048	JVTD_047	2.1

VL_040	JVL_040	JVL_041	1.3	VTD_025	JVTD_050	JVTD_049	2.1
VL_041	JVL_041	JVL_042	1.3	VTI_001	JVTI_001	JVTI_002	2.1
VL_042	JVL_042	JCABLE_VL_7	1.3	VTI_002	JVTI_003	JVTI_004	2.1
VL_043	JCABLE_VL_7	JVL_044	1.3	VTI_003	JVTI_005	JVTI_006	2.1
VL_044	JVL_044	JVL_045	1.3	VTI_004	JVTI_007	JVTI_008	2.1
VL_045	JVL_045	JVL_046	1.3	VTI_005	JVTI_009	JVTI_010	2.1
VL_046	JVL_046	JVL_047	1.3	VTI_006	JVTI_011	JVTI_012	2.1
VL_047	JVL_047	JVL_048	0.8	VTI_007	JVTI_013	JVTI_014	2.1
VL_048	JVL_048	JVL_049	0.8	VTI_008	JVTI_015	JVTI_016	2.1
CABLE_1	JCABLE_VL_1	JPILS_004	26.5	VTI_009	JVTI_017	JVTI_018	2.1
CABLE_2	JCABLE_VL_2	JPILS_003	20.0	VTI_010	JVTI_019	JVTI_020	2.1
CABLE_3	JCABLE_VL_3	JPILS_002	14.3	VTI_011	JVTI_021	JVTI_022	2.1
CABLE_4	JCABLE_VL_4	JPILS_001	11.2	VTI_012	JVTI_023	JVTI_024	2.1
CABLE_5	JCABLE_VL_5	JPILS_002	14.3	VTI_013	JVTI_025	JVTI_026	2.1
CABLE_6	JCABLE_VL_6	JPILS_003	20.0	VTI_014	JVTI_027	JVTI_028	2.1
CABLE_7	JCABLE_VL_7	JPILS_004	26.5	VTI_015	JVTI_029	JVTI_030	2.1
VBD_001	JVTD_001	JVTD_003	1.5	VTI_016	JVTI_031	JVTI_032	2.1
VBD_002	JVTD_003	JVTD_005	2.5	VTI_017	JVTI_033	JVTI_034	2.1
VBD_003	JVTD_005	JVTD_007	2.5	VTI_018	JVTI_035	JVTI_036	2.1
VBD_004	JVTD_007	JVTD_009	2.5	VTI_019	JVTI_037	JVTI_038	2.1
VBD_005	JVTD_009	JVTD_011	2.5	VTI_020	JVTI_039	JVTI_040	2.1
VBD_006	JVTD_011	JVTD_013	2.5	VTI_021	JVTI_041	JVTI_042	2.1
VBD_007	JVTD_013	JVTD_015	2.5	VTI_022	JVTI_043	JVTI_044	2.1
VBD_008	JVTD_015	JVTD_017	2.5	VTI_023	JVTI_045	JVTI_046	2.1
VBD_009	JVTD_017	JVTD_019	2.5	VTI_024	JVTI_047	JVTI_048	2.1
VBD_010	JVTD_019	JVTD_021	2.5	VTI_025	JVTI_049	JVTI_050	2.1
VBD_011	JVTD_021	JVTD_023	2.5	PILD_001	JPILD_001	JPILD_002	2.1
VBD_012	JVTD_023	JVTD_025	2.5	PILD_002	JPILD_002	JPILD_003	2.1
VBD_013	JVTD_025	JVTD_027	2.5	PILD_003	JPILD_003	JPILD_004	2.1
VBD_014	JVTD_027	JVTD_029	2.5	PILD_004	JPILD_004	JPILD_005	2.1
VBD_015	JVTD_029	JVTD_031	2.5	PILD_005	JPILD_006	JPILD_005	0.5
VBD_016	JVTD_031	JVTD_033	2.5	PILD_006	JPILD_007	JPILD_006	3.6
VBD_017	JVTD_033	JVTD_035	2.5	PILD_007	JPILD_008	JPILD_007	3.6
VBD_018	JVTD_035	JVTD_037	2.5	PILD_008	JPILD_009	JPILD_008	3.6
VBD_019	JVTD_037	JVTD_039	2.5	PILI_001	JPILI_001	JPILI_002	2.1
VBD_020	JVTD_039	JVTD_041	2.5	PILI_002	JPILI_002	JPILI_003	2.1

VBD_021	JVTD_041	JVTD_043	2.5	PILI_003	JPILI_003	JPILI_004	2.1
VBD_022	JVTD_043	JVTD_045	2.5	PILI_004	JPILI_004	JPILI_005	2.1
VBD_023	JVTD_045	JVTD_047	2.5	PILI_005	JPILI_005	JPILI_006	0.5
VBD_024	JVTD_047	JVTD_049	1.5	PILI_006	JPILI_007	JPILI_006	3.6
VBI_001	JVTI_004	JVTI_002	1.5	PILI_007	JPILI_008	JPILI_007	3.6
VBI_002	JVTI_006	JVTI_004	2.5	PILI_008	JPILI_009	JPILI_008	3.6
VBI_003	JVTI_008	JVTI_006	2.5	PILR_001	JPILR_001	JPILR_002	4.1
VBI_004	JVTI_010	JVTI_008	2.5	PILR_002	JPILR_003	JPILR_002	4.1
VBI_005	JVTI_012	JVTI_010	2.5	PILS_001	JPILS_002	JPILS_001	0.9
VBI_006	JVTI_014	JVTI_012	2.5	PILS_002	JPILS_003	JPILS_002	1.0
VBI_007	JVTI_016	JVTI_014	2.5	PILS_003	JPILS_004	JPILS_003	0.7
VBI_008	JVTI_018	JVTI_016	2.5	PILS_004	JPILS_005	JPILS_004	1.6
VBI_009	JVTI_020	JVTI_018	2.5				

5.4 PROPIEDADES DE LAS SECCIONES

Tabla 19 Propiedades mecánicas de las secciones de los elementos del tramo de acceso

Sección	Area [m2]	J [m4]	Iy [m4]	Iz [m4]	Av,z [m2]
VL	4.9E-02	3.4E-03	2.1E-03	2.7E-03	2.3E-02
VL_S.apoyo	8.6E-02	5.2E-03	3.7E-03	4.0E-03	3.5E-02
VPISO	8.6E-03	7.7E-05	1.0E-04	3.3E-05	6.0E-03
Sección	Av,y [m2]	Wel,y [m3]	Wel,z [m3]	Wpl,y [m3]	Wpl,z [m3]
VL	3.6E-02	5.4E-03	6.9E-03	7.2E-03	8.5E-03
VL_S.apoyo	6.8E-02	1.1E-02	1.0E-02	1.4E-02	1.4E-02
VPISO	3.0E-03	6.7E-04	4.4E-04	8.3E-04	5.1E-04

Tabla 20 Propiedades mecánicas de las secciones de los elementos del tramo principal

Sección	Area [m2]	J [m4]	Iy [m4]	Iz [m4]
12T15	1.6E-3	4.3E-7	2.2E-7	2.2E-7
4T15	5.5E-4	4.8E-8	2.4E-8	2.4E-8
7T15	9.6E-4	1.5E-7	7.4E-8	7.4E-8
VL	4.7E-2	2.1E-3	1.7E-3	6.9E-3
VB	1.3E-2	2.8E-4	2.8E-4	1.4E-4
PIL_BASE	9.5E-1	1.2E-1	9.9E-2	6.2E-2
PILS#130x150	2.0E+0	5.3E-1	3.7E-1	2.7E-1
PIL#100x50	5.0E-1	2.9E-2	1.0E-2	4.2E-2
PILR#100x25	2.5E-1	4.4E-3	1.3E-3	2.1E-2
PILR#100x50	5.0E-1	2.9E-2	1.0E-2	4.2E-2
VT#15x15	5.6E-3	2.7E-5	1.8E-5	1.8E-5
VT#30x15	8.6E-3	7.7E-5	1.0E-4	3.3E-5
Sección	Av,z [m2]	Av,y [m2]	Wel,y [m3]	Wel,z [m3]	Wpl,y [m3]	Wpl,z [m3]
12T15	1.5E-3	1.5E-3	9.4E-6	9.4E-6	1.6E-5	1.6E-5
4T15	5.0E-4	5.0E-4	1.8E-6	1.8E-6	3.1E-6	3.1E-6
7T15	8.7E-4	8.7E-4	4.2E-6	4.2E-6	7.1E-6	7.1E-6
VL	2.2E-2	3.9E-2	3.2E-3	9.2E-3	6.4E-3	1.4E-2
VB	8.0E-3	5.0E-3	1.4E-3	1.1E-3	1.7E-3	1.2E-3
PIL_BASE	9.4E-1	8.1E-1	1.5E-1	1.1E-1	2.6E-1	2.1E-1
PILS#130x150	1.6E+0	1.6E+0	4.9E-1	4.2E-1	7.3E-1	6.3E-1
PIL#100x50	4.2E-1	4.2E-1	4.2E-2	8.3E-2	6.3E-2	1.3E-1
PILR#100x25	2.1E-1	2.1E-1	1.0E-2	4.2E-2	1.6E-2	6.3E-2
PILR#100x50	4.2E-1	4.2E-1	4.2E-2	8.3E-2	6.3E-2	1.3E-1
VT#15x15	3.0E-3	3.0E-3	2.5E-4	2.5E-4	3.0E-4	3.0E-4
VT#30x15	6.0E-3	3.0E-3	6.7E-4	4.4E-4	8.3E-4	5.1E-4

5.5 HIPÓTESIS DE CARGA

5.5.1 Definición de los casos de carga

5.5.1.1 Acciones permanentes

a) Cargas permanentes de valor constante (G)

- Peso Propio (PP)
- Cargas Muertas

- CM_inf: peso de la barandilla, losa, pavimento con el espesor de proyecto y el 80% del peso de las tuberías (incluyendo el agua que contienen)
- CM_sup: peso de la barandilla, losa, pavimento con el 150% del espesor de proyecto y el 120% del peso de las tuberías (incluyendo el agua que contienen)

b) Cargas permanentes de valor no constante (G*)

- Tesado_i: se corresponde con la fuerza de tesado del cable "i"
- Tesado_Riostra: se corresponde con el esfuerzo de pretensado de la riostra del pilono.
- Asiento_i: es el asiento asignado al apoyo "i"

5.5.1.2 Acciones variables (Q)

a) Sobrecarga de uso

- Sobrecarga uniforme

Se han considerado cuatro hipótesis de carga, actuando cada una de ellas en un área en planta igual a L/2 x B/2, donde L y B son la longitud y anchura del tablero respectivamente.

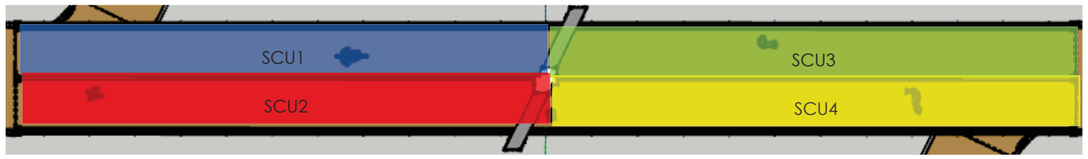


Figura 12 Hipótesis de distribución de la sobrecarga de uso

- Empuje en barandilla, actuando tanto en la dirección transversal al tablero y tanto en sentido positivo como negativo.

b) Viento

- VT1/VT1`: viento transversal, vertical y momento actuando en dos direcciones sin la acción concomitante de la sobrecarga de uso.
- VT2/VT2`: viento transversal, vertical y momento actuando en las dos direcciones concomitante con la sobrecarga de uso en la primera mitad del tablero.
- VT3/VT3`: viento transversal, vertical y momento actuando en las dos direcciones concomitante con la sobrecarga de uso en la segunda mitad del tablero.
- VT4/VT4`: viento transversal, vertical y momento actuando en las dos direcciones concomitante con la sobrecarga de uso en toda la longitud del tablero
- VL/VL: viento longitudinal actuando en las dos direcciones.

c) Temperatura

- CUPT: componente uniforme positiva en tablero, pilono y cables (en el caso del tramo principal).
- CUNT: componente uniforme negativa en tablero, pilono y cables (en el caso del tramo principal).
- DTPT: diferencia de temperatura positiva en el tablero.
- DTNT: diferencia negativa de temperatura en tablero.

5.5.1.3 Acciones accidentales (A_E)

a) Sismo

- Sismo_i: acción del sismo en la dirección "i"

5.5.2 Combinación de acciones

Tabla 21 Combinación de acciones. Combinaciones auxiliares, en ELU y ELS

Combinación	Tipo	Caso de carga	γf*Ψi	Combinación	Tipo	Caso de carga	γf*Ψi
ENV_CM	Envelope	CM_inf	1	TEMP_1	Linear Add	CUPT	0.35
		CM_sup	1			DTPT	1
TESADO	Linear Add	Tesado1	1	TEMP_2		CUPT	0.35
		Tesado2	1			DTNT	1
		Tesado3	1	TEMP_3		CUNT	0.35
		Tesado4	1			DTPT	1
		Tesado5	1	TEMP_4		CUNT	0.35
		Tesado6	1			DTNT	1

ENV_G	Linear Add	Tesado7	1
		PP	1
		ENV_CM	1
ENV_Asiento	Envelope	Asiento_1	1
		Asiento_3	1
PERM_1	Linear Add	ENV_G	1.35
		TESADO	1.35
		Tesado_Riostra	1
PERM_2	Linear Add	ENV_Asiento	1.2
		ENV_G	1.05
		TESADO	0.95
		Tesado_Riostra	1
PERM_3	Linear Add	ENV_Asiento	1.2
		ENV_G	0.95
		TESADO	1.05
		Tesado_Riostra	1
PERM_4	Linear Add	ENV_Asiento	1.2
		ENV_G	1
		TESADO	1
		Tesado_Riostra	1
PERM_5	Linear Add	ENV_G	1.35
		TESADO	1.35
		Tesado_Riostra	1
PERM_6	Linear Add	ENV_G	1.05
		TESADO	0.95
		Tesado_Riostra	1
PERM_7	Linear Add	ENV_G	0.95
		TESADO	1.05
		Tesado_Riostra	1
PERM_8	Linear Add	ENV_G	1
		TESADO	1
		Tesado_Riostra	1.1
PERM_9	Linear Add	ENV_Asiento	1
		ENV_G	1
		TESADO	1
		Tesado_Riostra	0.9

TEMP_5		CUPT	1
		DTPT	0.75
TEMP_6		CUPT	1
		DTNT	0.75
TEMP_7		CUNT	1
		DTPT	0.75
TEMP_8		CUNT	1
		DTNT	0.75
ENV_TEMP	Envelope	TEMP_1	1
		TEMP_2	1
		TEMP_3	1
		TEMP_4	1
		TEMP_5	1
		TEMP_6	1
		TEMP_7	1
		TEMP_8	1
		ENV_PERM_ELU	1
ELU1	Linear Add	ENV_SBU	1.5
		ENV_V_conSC	0.45
		ENV_PERM_ELU	1
ELU2	Linear Add	ENV_SBU	1.5
		ENV_TEMP	0.9
ELU3	Linear Add	ENV_PERM_ELU	1
		ENV_V_sinSC	1.5
		ENV_PERM_ELU	1
ELU4	Linear Add	ENV_SBU	0.6
		ENV_TEMP	1.5
ELS1,frec	Linear Add	ENV_PERM_ELS	1
		ENV_SBU	0.4
		ENV_TEMP	0.5
ELS2,frec	Linear Add	ENV_PERM_ELS	1
		ENV_V_sinSC	0.2
		ENV_TEMP	0.5
ELS3,frec	Linear Add	ENV_PERM_ELS	1
		ENV_TEMP	0.6
ELS4,frec	Linear Add	ENV_PERM_ELS	1

PERM_10	Linear Add	ENV_G	1
		TESADO	1
		Tesado_Riostra	1.1
ENV_PERM_ELU	Envelope	PERM_1	1
		PERM_4	1
		PERM_2	1
		PERM_3	1
		PERM_5	1
		PERM_6	1
		PERM_7	1
		PERM_8	1
ENV_PERM_ELS	Envelope	PERM_9	1
		PERM_10	1
E_BARANDILLAS	Abs Add	E_Barandilla1	1
		E_Barandilla2	1
ENV_SBU	Envelope	SCU_H1	1
		SCU_H2	1
		SCU_H3	1
		SCU_H4	1
		E_BARANDILLAS	1
ENV_V_conSC	Envelope	VT1	1
		VT1`	1
		VL	1
		VL`	1
		VT2	1
		VT2`	1
		VT3	1
		VT3`	1
		VT4	1
		VT4`	1
ENV_V_sinSC	Envelope	VT1	1
		VT1`	1
		VL	1
		VL`	1

ELS5,frec	Linear Add	ENV_SBU	0.4
		ENV_PERM_ELS	1
		ENV_V_sinSC	0.2
ELS1,qperm	Linear Add	ENV_PERM_ELS	1
		ENV_TEMP	0.5
ELS2,qperm		ENV_PERM_ELS	1
ENV_SimoX	Envelope	ENV_PERM_ELU	1.35
		Sismo_X	1
		Sismo_Y	0.3
		Sismo_Z	0.3
ENV_SismoY	Envelope	ENV_PERM_ELU	1.35
		Sismo_X	0.3
		Sismo_Y	1
		Sismo_Z	0.3
ENV_SismoZ	Envelope	ENV_PERM_ELU	1.35
		Sismo_X	0.3
		Sismo_Y	0.3
		Sismo_Z	1
ENV_ELU,pers.	Envelope	ELU1	1
		ELU3	1
		ELU2	1
		ELU4	1
ENV_ELU,sismo	Envelope	ENV_SimoX	1
		ENV_SismoY	1
		ENV_SismoZ	1
ENV_ELS,frec	Envelope	ELS1,frec	1
		ELS2,frec	1
		ELS3,frec	1
		ELS4,frec	1
		ELS5,frec	1
ENV_ELS,qperm	Envelope	ELS1,qperm	1
		ELS2,qperm	1

6. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados de esfuerzos, desplazamientos y reacciones se muestran en el **APÉNDICE** del presente documento.

7. COMPROBACIONES ESTRUCTURALES EN ELU

7.1 TESADO DE LOS TIRANTES

7.1.1 Tensión final de tesado

En este apartado se va a definir el valor final de la tensión a la que debe quedar cada cable al final del proceso constructivo. Para ello se ha aplicado a cada cable un valor unitario de tesado y sean calculado los desplazamientos Uz que se producen en el tablero. El objetivo consiste en determinar los coeficientes por los que hay que multiplicar dicho tesado unitario para conseguir una contraflecha de construcción en el tablero tal que bajo la combinación de cargas casi-permanente, la rasante sea la definida en proyecto.

Tabla 22 Matriz de desplazamientos Uz para un tesado unitario

	Tesado1	Tesado2	Tesado3	Tesado4	Tesado5	Tesado6	Tesado7	ELS,qp
JCABLE_VL_1	0.000036	0.0001	0.000032	-0.000004499	-0.000018	-0.00000335	0.000181	-0.045311
JCABLE_VL_2	-0.00008	0.000173	0.000089	-0.000002358	-0.000024	-5.155E-06	0.00021	-0.052929
JCABLE_VL_3	-0.0001	0.000058	0.000138	0.000027	-0.000013	-7.627E-06	0.000114	-0.032219
JCABLE_VL_4	-7.539E-06	-2.759E-06	0.000041	0.000076	0.000041	-2.759E-06	-7.539E-06	-0.023258
JCABLE_VL_5	0.000114	-7.627E-06	-0.000013	0.000027	0.000138	0.000058	-0.0001	-0.032219
JCABLE_VL_6	0.00021	-5.155E-06	-0.000024	-0.000002358	0.000089	0.000173	-0.00008	-0.052929
JCABLE_VL_7	0.000181	-0.00000335	-0.000018	-0.000004499	0.000032	0.0001	0.000036	-0.045311

Tabla 23 Coeficientes de tesado

Cable 1 y 7	134.26
Cable 2 y 6	175.67
Cable 3 y 5	156.34
Cable 4	242.53

Tabla 24 Tensión final de tesado

	N(KN)	nºCordones	**%sN,rotura**
CABLE_1	480.13	12	**16%**
CABLE_2	351.21	7	**21%**
CABLE_3	272.37	7	**16%**
CABLE_4	235.25	4	**24%**
CABLE_5	272.37	7	**16%**
CABLE_6	351.21	7	**21%**
CABLE_7	480.13	12	**16%**

7.1.2 Tensión de tesado de cada tirante

Partiendo del estado final de tesado de los tirantes, se ha seguido un proceso evolutivo para determinar la tensión de tesado de cada cable que conduzca al valor final de tesado determinado en el apartado anterior.

Por otro lado, de este proceso se obtendrá la secuencia de tesado, es decir, en que orden se deben tesar los cables para alcanzar el estado final.

La secuencia evolutiva consta de 5 fases:

- Fase 0: Tablero apeado
- Fase 1: Tesado del cable 4
- Fase 2: Tesado de los cables 3 y 5

- Fase 3: Tesado de los cables 2 y 6
- Fase 4: Tesado de los cables 1 y 7

En la siguiente tabla se muestran los valores de los esfuerzos axiles correspondientes a cada fase:

Tabla 25 Valores de la tensión de tesado inicial (en negrita) de cada cable

	FASE	N [KN]	%sN,rotura	FASE	N [KN]	%sN,rotura
CABLE_1		0	0%		0	0%
CABLE_2		0	0%		**361**	21%
CABLE_3		0	0%		276	16%
CABLE_4	FASE 4	0	0%	FASE 1	243	25%
CABLE_5		0	0%		276	16%
CABLE_6		0	0%		**361**	21%
CABLE_7		0	0%		0	0%
CABLE_1		0	0%		**480**	16%
CABLE_2		0	0%		351	21%
CABLE_3		0	0%		272	16%
CABLE_4	FASE 3	**280**	29%	FASE 0	235	24%
CABLE_5		0	0%		272	16%
CABLE_6		0	0%		351	20%
CABLE_7		0	0%		**480**	16%
CABLE_1		0	0%			
CABLE_2		0	0%			
CABLE_3		**293**	17%			
CABLE_4	FASE 2	238	24%			
CABLE_5		**293**	17%			
CABLE_6		0	0%			
CABLE_7		0	0%			

A continuación, se define el orden de tesado y la tensión que se debe aplicar a cada cable:

Tabla 26 Orden y Tensión de tesado

ID. CABLE	Nº ORDEN DE TESADO	TENSIÓN [KN]
CABLE 1	4	480
CABLE 2	3	361
CABLE 3	2	293
CABLE 4	1	280
CABLE 5	2	293
CABLE 6	3	361
CABLE 7	4	480

7.2 COMPROBACIÓN DEL TABLERO METÁLICO

La comprobación de las secciones metálicas del tablero se ha realizado en base al EC-3,para la combinación de cargas persistentes o transitorias en ELU

7.2.1 Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales

a) Comprobación frente a esfuerzo axil de tracción

Este apartado se realiza según el artículo 6.2.3 del EC3, cuya comprobación viene definida por la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1.0$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{Pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}}\ ; N_{u,Rd} = \frac{0.9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}})$$

b) Comprobación frente a esfuerzo axil de compresión

Este apartado se realiza según el artículo 6.2.4 del EC3, cuya comprobación viene definida por la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1.0$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$$

c) Comprobación de pandeo por compresión

Este apartado se realiza según el artículo 6.3.1.1 del EC3, cuya comprobación viene definida por la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$$

Donde χ es el factor de reducción por pandeo obtenido según lo especificado en el apartado 6.3.1.2 de esta norma.

d) Comprobación frente a flexión

Este apartado se realiza según el artículo 6.2.5 del EC3, cuya comprobación viene definida por la siguiente expresión:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1.0$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

e) Comprobación frente a pandeo lateral

Este apartado se realiza según el artículo 6.3.2.1 del EC3, cuya comprobación viene definida por la siguiente expresión:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M1}}$$

Donde χ_{LT} es el factor de reducción por pandeo lateral calculado según lo especificado en el apartado 6.3.2.2 de esta norma.

Finalmente se comprueba la sección frente a la interacción axil-flector según el apartado 6.3.3 del EC3, aplicando la siguiente expresión:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

7.2.2 Estado límite de agotamiento frente a cortante en presencia de torsión

Este apartado se realiza según el artículo 6.2.6 del EC3, cuya comprobación viene definida por la siguiente expresión:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1.0$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,T,Rd} = \frac{A_v (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \cdot \sqrt{[1 - \frac{T_{Ed}}{1.25(\frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}})}]}$$

7.2.3 Resultados

El software calcula automáticamente las comprobaciones descritas en los apartados anteriores, arrojando el valor de los cocientes entre la demanda y la capacidad (D/C) de la sección para cada una de ellas.

Además, se puede mostrar por pantalla, en una gama de colores, el ratio de dicho cociente para la comprobación deseada.

A continuación, se muestra los resultados del aprovechamiento (D/C) de los elementos para la comprobación de interacción axil-flector.

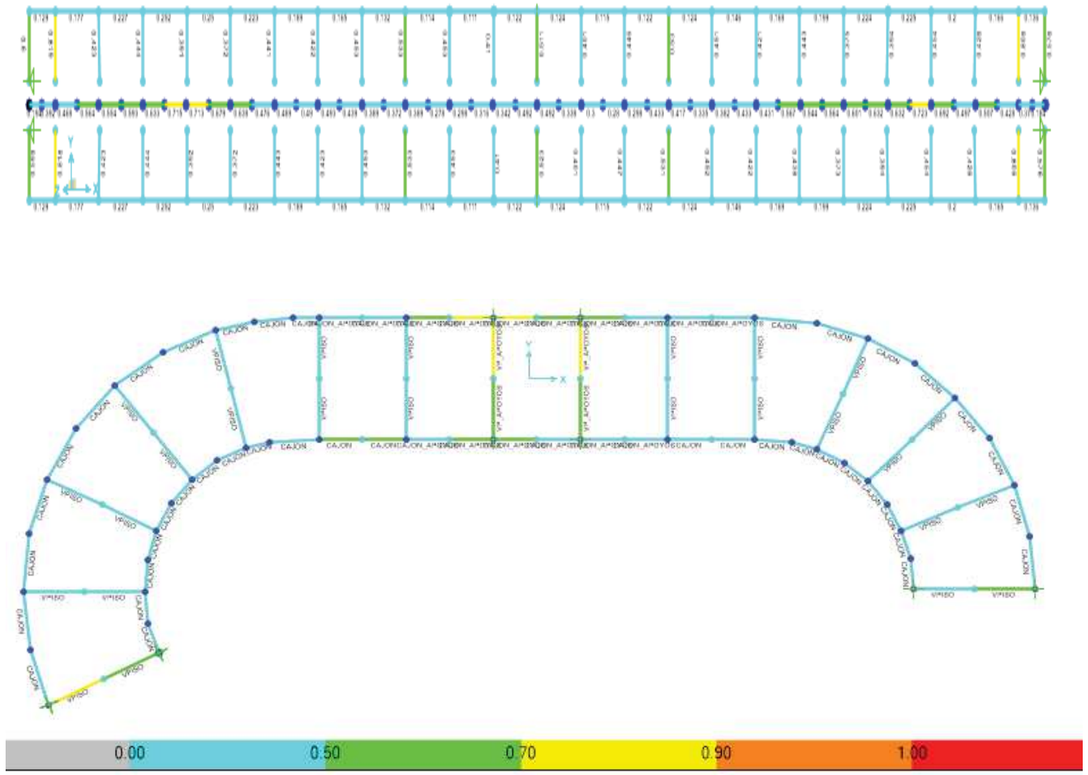


Figura 13 Ratio D/C de la interacción Axil, flector del tablero

El valor de los coeficientes de aprovechamiento, así como las comprobaciones frente la interacción entre el cortante y el torsor, se recogen en el **APÉNDICE** del presente documento.

7.3 COMPROBACIÓN DE LA LOSA DE HORMIGÓN

La comprobación estructural de la losa de hormigón se ha realizado en base a la EHE-08 para la combinación de acciones persistentes o transitorias en ELU.

La armadura dispuesta consiste en un **mallazo estándar 20/20/12/12.**

Tabla 27 Comprobación de armado de la losa del tramo principal

SECCIÓN	DIRECCIÓN	As,cálculo [cm²]	As,mínima [cm²]	As,real [cm²]
CL	Y	10.05	10.50	13,5
CL	X	8.69	15,75	21,5
VT	X	7,70	15,75	21,5

7.4 COMPROBACIÓN DEL PILONO

La comprobación se ha realizado según la EHE-08 para la combinación persistente o transitoria en ELU.

7.4.1 Pretensado de la riostra

7.4.1.1 Diseño del pretensado

Para calcular la fuerza de pretensado mínima se han obtenido los diagramas de Magnel en cada sección a partir de los esfuerzos máximos y mínimos de las combinaciones poco probable y frecuente en ELS.

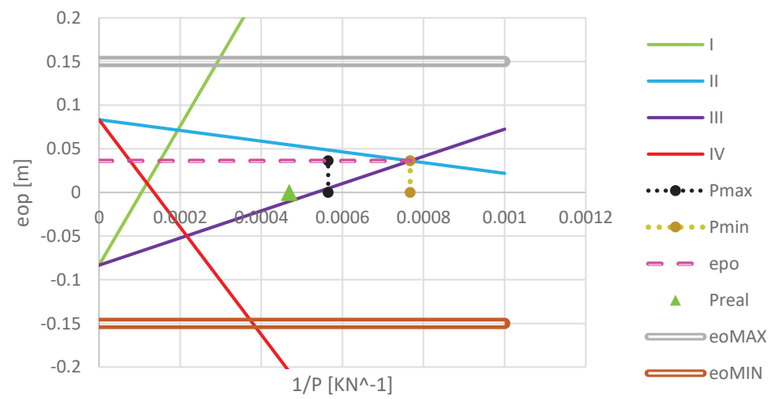


Figura 14 Diagrama de Magnel en la sección G-G

La armadura activa diseñada tiene las siguientes características:

- 2 cables
- 7 torones/cable de 150 mm^2 cada uno

7.4.1.2 Fuerza de tesado

Cada cable se tesa al 75% del límite de rotura del acero, por lo que la fuerza de tesado inicial es de **1395 KN/cable**.

7.4.1.3 Trazado medio de los cables

A continuación, se definen las coordenadas del trazado medio de los cables de pretensado, así como las coordenadas del huso de paso (rango en el que puede oscilar la traza de los cables).

El origen de coordenadas se sitúa en el medio de la cara inferior de la sección de empotramiento de la riostra.

Tabla 28 Coordenadas X, Y de la traza y huso de paso de los cables de pretensado de la riostra del pilono.

SECCIÓN	Coordenadas de los cables		Coordenadas del huso de paso		
	X	Y	X	Y,max	Y,min
0	0.000	0.250	0.000	0.305	0.240
L/4	2.048	0.313	2.048	0.328	0.270
Cl	4.096	0.350	4.096	0.369	0.350
3L/4	6.144	0.313	6.144	0.328	0.270
L	8.192	0.250	8.192	0.305	0.240

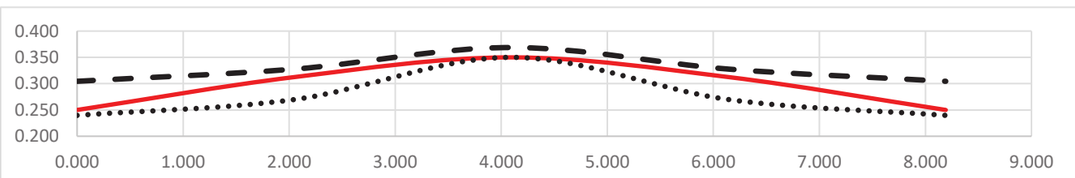


Figura 15 Trazado medio de los cables y huso de paso. Ordenadas (X), abdisas (Y).

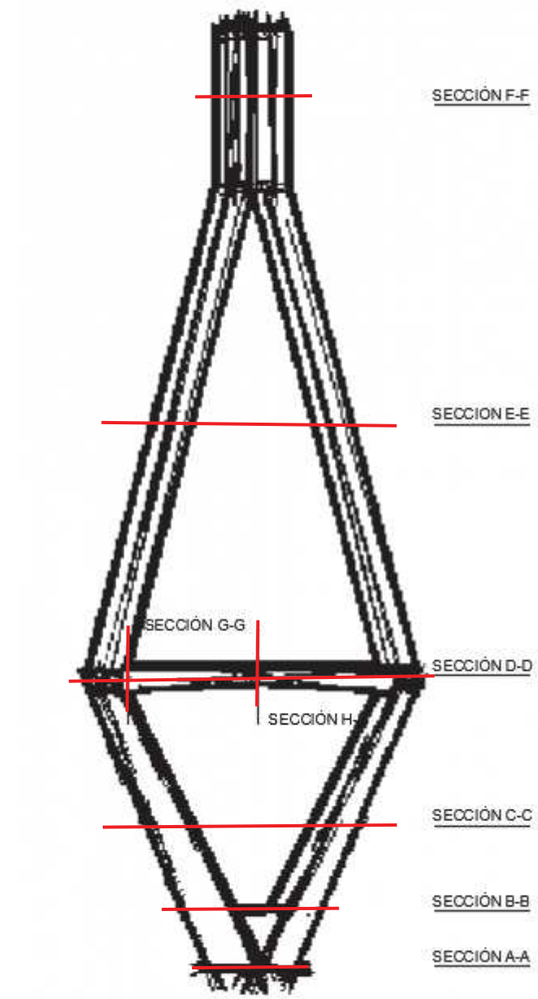


Figura 16 Definición de las secciones de cálculo para el armado del pilono

7.4.2 Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales

Tabla 29 Comprobación de la armadura del pilono frente a solicitaciones normales

SECCIÓN	EJE	As,calc [cm²]	A`s,calc [cm²]	nº/Φ	As,real [cm²]	nº/Φ	A`s,real [cm²]
A-A	3	26.73	8.02	6/25	29.45	3/25	14.73
A-A	2	26.73	26.73	6/25	29.45	6/25	29.45
B-B	3	22.40	6.72	5/25	24.54	3/25	14.73
B-B	2	22.40	22.40	5/25	24.54	5/25	24.54
C-C	3	15.68	4.70	3/25+2/20	21.01	3/25+2/20	21.01
C-C	2	15.68	15.68	3/25+2/20	21.01	3/25+2/20	21.01
D-D	3	14.00	4.20	3/25+2/20	21.01	3/25+2/20	21.01
D-D	2	14.00	14.00	3/25	14.73	3/25	14.73
E-E	3	14.00	4.20	3/25+2/20	21.01	3/25+2/20	21.01
E-E	2	14.00	14.00	3/25	14.73	3/25	14.73
G-G	3	14.00	4.20	3/25+2/20	15.71	3/25+2/20	15.71
G-G	2	14.00	14.00	3/25	14.73	3/25	14.73
H-H	3	9.5	2.85	3/25+2/20	15.71	3/25+2/20	15.71
H-H	2	9.5	9.5	2/25	9.82	2/25	9.82

Para la comprobación de las secciones H-H y G-G se ha realizado un diagrama de interacción axil-flector con la colaboración de la armadura activa y pasiva, verificando que no se sobrepasan los esfuerzos resisitdos.

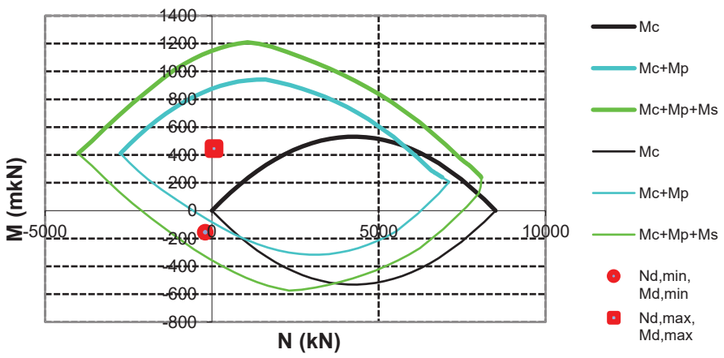


Figura 17 Diagrama de interacción en la sección G-G

Para el cálculo de la armadura en la sección F-F, se ha realizado un modelo de bielas y tirantes ya que se trata de una región D.

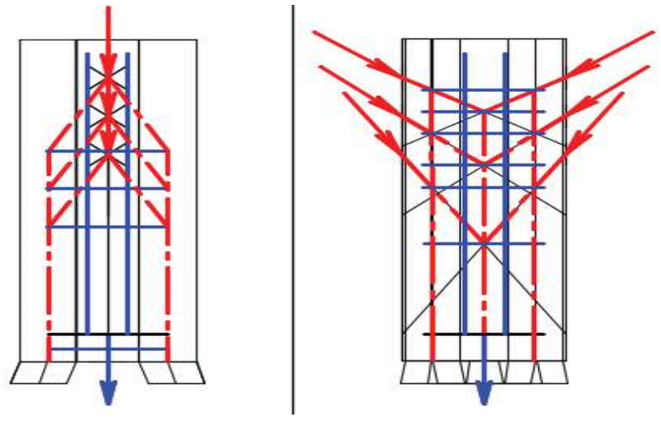


Figura 18 Modelo de bielas (rojo) y tirantes (azul) de la parte superior del pilono

Teniendo en cuenta el modelo, se ha diseñado el armado de esta parte de la estructura como un conjunto de cercos verticales y horizontales uniforme, de tal manera que se resista la tracción de los tirantes además de confinar las bielas comprimidas del hormigón.

El modelo de bielas y tirantes depende de la posición de las armaduras, por lo que se ha calculado la tensión total de tracción que deben resistir en conjunto.

Tabla 30 Armadura de cálculo a tracción de la parte superior del pilono

	EJE X/Y	EJE Z
Td	981,5 KN	420 KN
As,calc	22,6 cm²	9,65 cm²

7.4.3 Estado límite de inestabilidad

Se comprueba que el primer modo de pandeo del pilono está asociado a una carga crítica de 20,4, por lo que no se produce inestabilidad.

7.4.4 Estado límite de agotamiento frente a cortante y torsión

El estado límite de agotamiento frente a cortante y torsión se han calculado según lo especificado en el artículo 44 y 45 de la EHE-08 respectivamente. Además, se ha comprobado la interacción entre torsión combinada con axil y flector, y torsión combinada con cortante.

En la siguiente tabla se muestra la cuantía de armadura transversal necesaria, para el caso más desfavorable de las comprobaciones realizadas, así como la armadura realmente dispuesta en cada sección.

Tabla 31 Comprobación de la armadura a cortante

SECCIÓN	EJE	Asa,calc	nº/φ/St	Asa,real
A-A	3	14.5	c#10/10	17.3
A-A	2	14.5	c#10/10	17.3
B-B	3	14.5	c#10/10	17.3
B-B	2	14.5	c#10/10	17.3
C-C	3	15.5	c#10/10	17.3
C-C	2	15.5	c#10/10	17.3
D-D	3	21	c#12/10	25
D-D	2	21	c#12/10	15
E-E	3	10.6	c#10/15	12
E-E	2	10.6	c#10/15	12
F-F	3	8.21	c#10/20	9.42
F-F	2	8.21	c#10/20	9.42
G-G	3	8	c#10/20	9.42
G-G	2	8	c#10/20	9.42
H-H	3	8	c#10/20	9.42
H-H	2	8	c#10/20	9.42

7.4.5 Estado límite de agotamiento por esfuerzo rasante

Se dispondrá armadura de rasante en la parte superior del pilono para transmitir correctamente los esfuerzos, producidos por los tirantes, al fuste.

Esta armadura debe conectar la sección de anclaje con el resto de la sección.

Tabla 32 Comprobación de la armadura por rasante

Ast,calc	nº/φ/St	Ast,real
16.67 cm²/ml	4#10/20	18.85 cm²/ml

8. COMPROBACIONES EN ELS

8.2 ESTADO LÍMITE DE DEFORMACIONES

Según la IAP-11 art. 7.1.1, la flecha vertical máxima bajo la solicitación frecuente de la sobrecarga de uso debe ser inferior a L/1200, siendo L la luz del vano.

Tabla 33 Comprobación de flecha

	L/1200 [m]	Uz,max [m]
Tramo principal	0.048	0.045
Tramos de acceso	0.014	0.0088

Por tanto, se cumple la restricción de deformación máxima.

8.3 ESTADO LÍMITE DE PLASTIFICACIONES LOCALES

Las secciones de acero se han diseñado disponiendo rigidizadores longitudinales y transversales de manera que todas sean de clase 1, por lo que no se requiere comprobación por plastificación.

8.4 ESTADO LÍMITE DE VIBRACIONES

Según el apartado 7.2.2 de la IAP-11, será necesario comprobar este estado límite en los modos de vibración cuyas frecuencias propias estén dentro de los rangos críticos siguientes:

- 1,25 a 4,60 Hz para vibraciones verticales y longitudinales
- 0,50 a 1,20 Hz para vibraciones laterales

En el caso de los tramos de acceso, las frecuencias propias de los modos de vibración mínimos (que movilizan el 90% de la masa) están dentro de los rangos límite por lo que no será necesario estudiar las vibraciones del tablero.

En el caso del tramo principal, existen frecuencias propias fuera de los rangos comentados, por lo que sí habrá que comprobar este estado límite.

Tabla 34 Periodos y frecuencias propias

MODO	**DIRECCIÓN**	**T [s]**	**f [Hz]**
Modo 1	VERTICAL	0.57	1.75
Modo 2	VERTICAL	0.35	2.84
Modo 3	VERTICAL	0.20	5.05
Modo 4	HORIZONTAL	0.19	5.31
Modo 5	VERTICAL	0.18	5.70
Modo 6	VERTICAL	0.14	7.02

La carga dinámica modelada es de 700 N (aproximadamente 70 Kg), que podrá actuar en cualquier punto del tablero.

Esta carga se dispondrá de manera que excite los modos de vibración a analizar en cada caso.

Los valores de referencia de la aceleración se exponen en la TABLA 7.2-a de la IAP-11, siendo los máximos aceptables de 2,50 y 0,80 m/s² para aceleraciones verticales y laterales respectivamente.

Según el SETRA para vibraciones en puentes peatonales, la acción periódica tiene la siguiente función:

$$Componente\ vertical: F_v(t) = G_o + 0.4 \cdot G_0 \cdot seno\ (2\pi f t)$$

$$Componente\ horizontal: F_h(t) = 0.05 \cdot G_0 \cdot seno\ (\pi f t)$$

Donde

- Go es la carga considerada, que en nuestro caso es 700 N
- f es la frecuencia en Hz

A continuación, se muestran los resultados del software de cálculo respecto a la aceleración producida en cada caso.

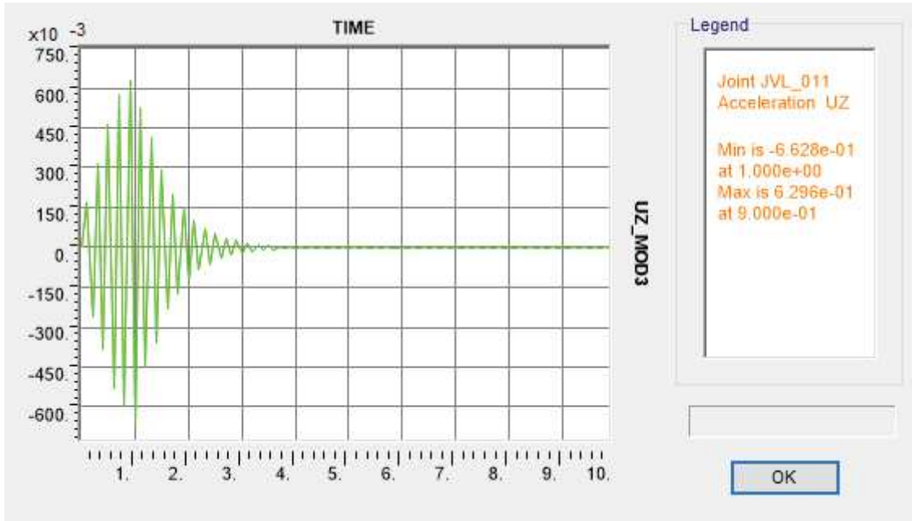


Figura 19 Aceleración vertical. Modo de vibración 3

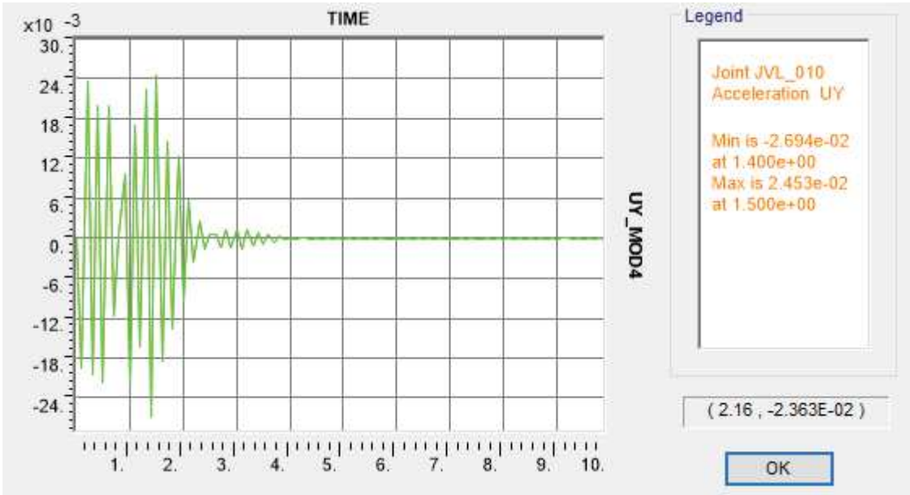


Figura 20 Aceleración lateral. Modo de vibración 4

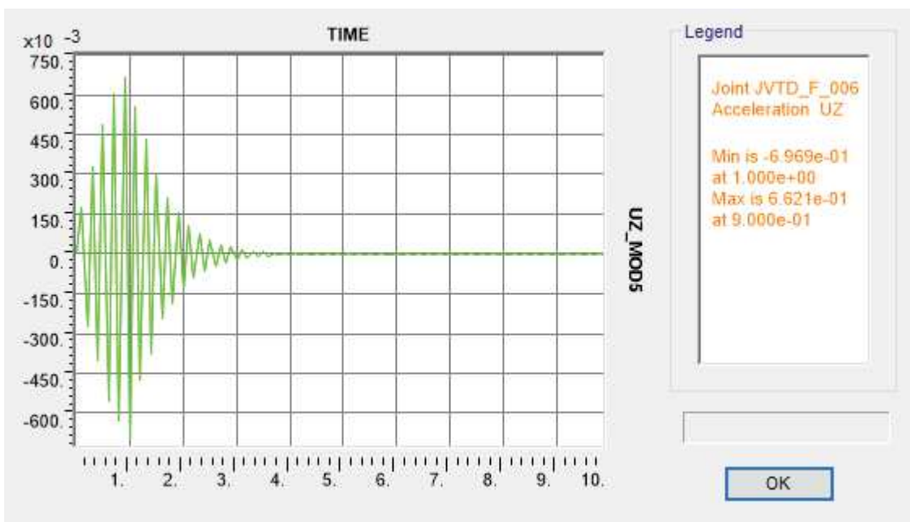


Figura 21 Aceleración vertical. Modo de vibración 5

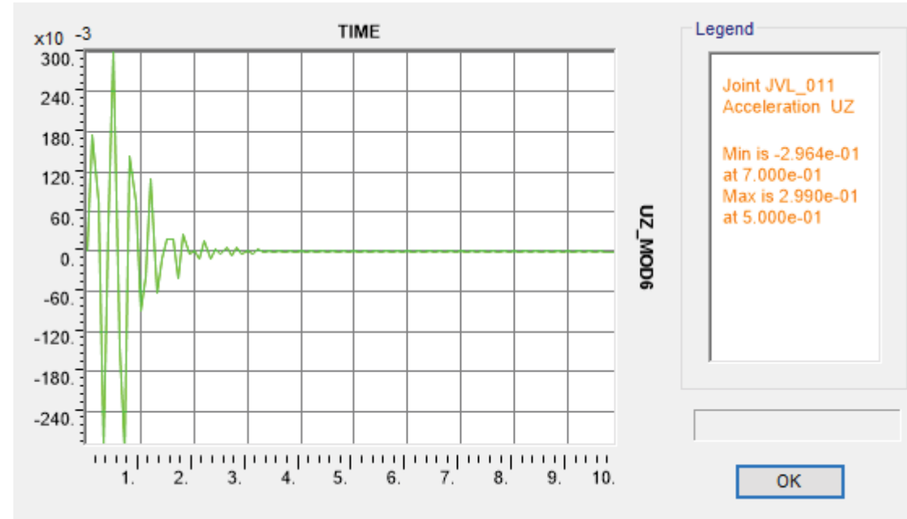


Figura 22 Aceleración vertical. Modo de vibración 6

Como se puede observar, en ningún caso se supera el límite impuesto por la norma. Además, comparando los grados de confort con las aceleraciones obtenidas, se está en un **grado medio** (aceleración vertical entre 0,50 y 1 m/s2 y aceleración lateral entre 0,1 y 0,3 m/s2).

8.5 ESTADO LÍMITE DE FISURACIÓN

La comprobación del estado límite de fisuración se realiza, según el artículo 49 de la EHE-08, bajo la combinación casi-permanente de acciones en cuanto a apertura de fisuras por tracción, frecuente en cuanto a comprobación de descompresión y poco probable en cuanto a fisuras por compresión.

Las limitaciones frente a la apertura de fisuras se definen en el apartado 5.1.1.2. En el caso que nos ocupa, la apertura máxima de fisuras bajo la combinación casi-permanente es de 0,2 mm y bajo la combinación frecuente, para hormigones pretensado, de 0 mm (descompresión).

a) Fisuras por tracción

Tabla 35 Apertura de fisuras

SECCIÓN	Wk [mm]
A-A	0
B-B	0
C-C	0
D-D	0
E-E	0
F-F	0
LOSA	0.17

Debido a que la solicitación principal del pilono es por compresión, no se producen fisuras por tracción en ninguna sección.

b) Fisuras por compresión

Para que no se produzcan fisuras por compresión, se debe cumplir que en la fibra más comprimida de la sección no se supere el 60% de la resistencia característica de compresión del hormigón, que en nuestro caso es:

$$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck} = 18\ MPa$$

Tabla 36 Tensión de compresión en la fibra más solicitada

SECCIÓN	σ_c [MPa]
A-A	6.52
B-B	4.15
C-C	10.5
D-D	12.15
E-E	7
F-F	2.47
G-G	4.13
H-H	5.35
LOSA	4.1

Como se observa, en ninguna sección se supera el límite a compresión establecido por la norma.

c) Descompresión

El estado límite de descompresión se comprueba en las secciones pretensadas para verificar que la tensión mínima en cualquier fibra es mayor que 0.

Tabla 37 Comprobación de tensiones en el hormigón en las secciones de la riostra

SECCIÓN	Po	eop	Σσc1,MAX	Σσc2,MAX	Σσc1,MIN	Σσc1,MIN
0 (G-G)	2787.75	0	4.13	1.02	0.96	2.82
L/4	2787.75	0	6.74	0.13	3.62	1.42
CI (H-H)	2787.75	-0.025	4.94	5.36	3.64	3.92

8.6 ESTADO LÍMITE DE FATIGA

Puesto que la EAE únicamente aporta una metodología para puentes de carretera o de ferrocarril, se entiende que quedan excluidas las pasarelas peatonales, por lo que no se ha realizado la comprobación de fatiga.

9. DIMENSIONAMIENTO DE APARATOS DE APOYO Y JUNTAS DE DILATACIÓN

9.2 APARATOS DE APOYO

En el caso del tramo principal, debido a que la única coacción frente a los desplazamientos laterales se encuentra en los apoyos de los estribos, se ha optado por disponer aparatos de apoyo guiados, que liberan el desplazamiento y rotaciones en la dirección longitudinal y coartan el resto de movimientos.

Para el caso de los tramos de acceso, por el efecto de la curvatura, bajo solicitaciones térmicas el tablero tiende a desplazarse en dos direcciones, coartar el desplazamiento lateral provocaría grandes tensiones en las vigas, por lo que se ha decidido disponer apoyos multidireccionales.

Atendiendo a la carga vertical máxima y al desplazamiento longitudinal, se determinarán las características de los apoyos.

Tabla 38 Resultados para el dimensionamiento de los aparatos de apoyo

	Rx,max [KN]	Ry,max [KN]	+-Ux [mm]	+-Uy [mm]	+-Θ [rad]
Tramo principal	715	65	17	0	0.0012
Tramos de acceso (Estribos)	305	30	15	0	0.005
Tramos de acceso (pila extr.)	340	30	14	15	0.005
Tramos de acceso (pila int.)	1200	30	28	15	0.005

Atendiendo a los esfuerzos y desplazamientos máximos, se propone un tipo de apoyo PG1000 cuyas características son:

Tabla 39 Características del aparato de apoyo

	V,max [KN]	H,max [KN]	+-Ux [mm]	+-Uy [mm]	+-Θmax [rad]
PG1000	1000	100	50	0	0.01
PM1000	1000	100	20	50	0.01
PM1500	1500	150	20	50	0.01

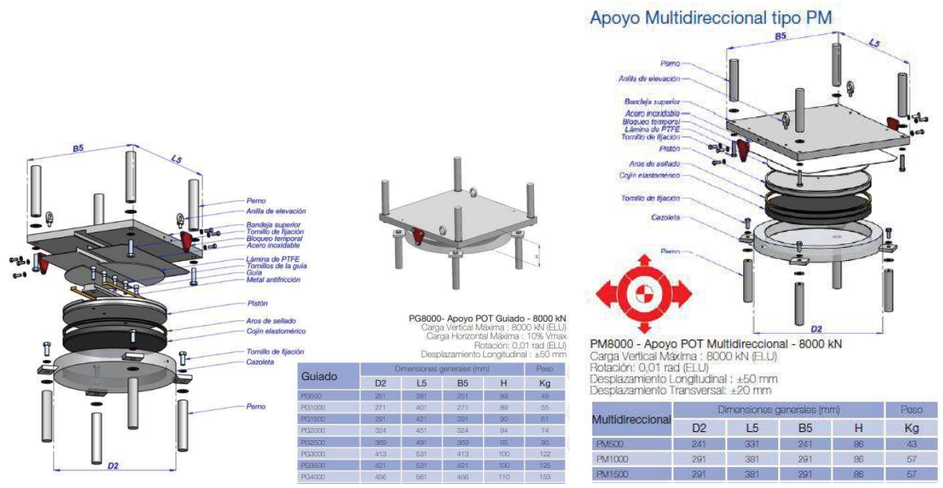
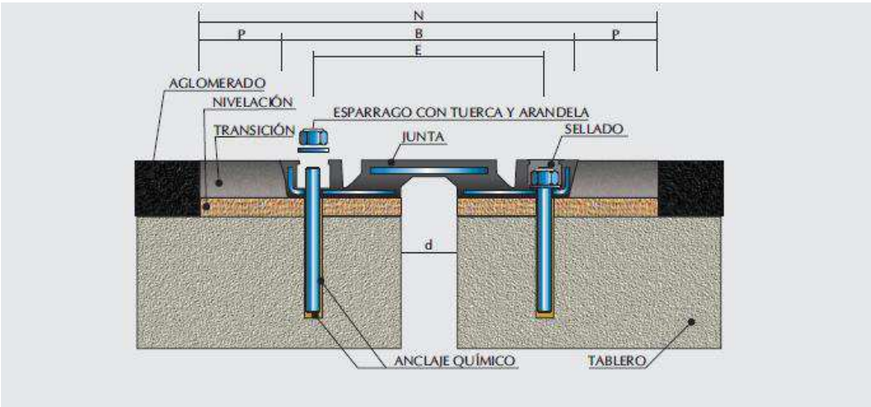


Figura 23 Características de los aparatos de apoyo

9.3 JUNTAS DE DILATACIÓN

Atendiendo a los desplazamientos máximos expuestos en la tabla 34, se ha escogido una junta de dilatación tipo JNA-42 cuyas características se muestran en la siguiente figura.



Modelo de junta	Movimiento Admitido	Cotas (mm)														
		A	B	C	D	d apertura de instalación máxima	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
JNA-42	42 mm	35	240	237	35	35	190	166	333	54	12	28	2000	6	380	70
JNA-52	52 mm	40	275	264	48	48	220	152	305	50	12	28	1829	8	435	80
JNA-70	70 mm	45	356	343	69	52	280	152	305	57	19	38	1829	10	516	80
JNA-80	80 mm	52	433	428	100	74	342	152	305	60	22	54	1829	8	633	70

Figura 24 Características de la junta de dilatación

10. CONCLUSIONES

En el presente estudio estructural, se ha perseguido el diseño eficiente de todos los elementos que componen la pasarela, comenzando por un prediseño que se ha ido modificando en función de los requisitos resistentes y funcionales. De este modo se ha llegado a un dimensionamiento ajustado en la medida de lo posible. La pasarela se ha dividido en dos tramos diferenciados, tramos de acceso y tramo principal, ya que, por su naturaleza, composición y respuesta estructural, no tendría sentido homogeneizar la sección.

En ambos casos, se consigue un coeficiente de aprovechamiento similar, del orden del 65%, ya que en este caso, ha sido limitante el criterio de deformaciones, por lo que se ha debido aumentar las dimensiones de algunos elementos para cumplir dicha restricción.

En resumen, este anejo recoge un proceso iterativo de diseño y comprobación llegando a una solución viable y eficiente que cumple los objetivos para los que ha sido concebida.

11. BIBLIOGRAFÍA

- MINISTERIO DE FOMENTO (2011). *Instrucción de acero estructural EAE-11.* Madrid: Ministerio de fomento.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2008). *Instrucción de hormigón estructural EHE-08.* Madrid: Ministerio de fomento
- MINISTERIO DE FOMENTO (2011). *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera IAP-11.* Madrid: Ministerio de fomento
- MINISTERIO DE FOMENTO (2007). *Norma de construcción sismorresistente: Puentes NCSP-07.* Madrid: Ministerio de fomento
- MINISTERIO DE FOMENTO (2000). *Obras de paso. Conceptso generales.* Madrid: Ministerio de fomento
- MINISTERIO DE FOMENTO (1995). *Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos de carretera RPX-95.* Madrid: Ministerio de fomento
- AENOR (2013). *Eurocódigo : Proyecto de estructuras de acero. Parte 2: Puentes.* UNE-EN 1993-2. Madrid: AENOR
- COMPOSAN (2013). *Juntas para puentes.* Madrid: Composan
- MK4 (2018). *Apoyos pot.* Barcelona: MeKano4, S.A.
- FREYSSINET (2012). *Tirantes H1000*. Madrid: Freyssinet
- DYWIDAG (2010). *Sistemas DYWIDAG de postensado adherente.* Madrid: DSI
- MONLEÓN CREMADES, S. (2017). *Diseño estructural de puentes.* Valencia: UPV
- CASANOVA COLÓN, J. (2016). *Asignatura Ingeniería computacional de estructuras*. Valencia, UPV.
- SAP2000 (V20, 2018). Computers and Structures, Inc. (CSI).