

ANEJO 6.- CÁLCULO DE ESFUERZOS TRANSMITIDOS A LA CIMENTACIÓN

Índice

1.	Objetivo y alcance	3
2.	Esfuerzos en la base del poste. Solución de proyecto.	4
2.1.	Datos	4
2.2.	Poste intermedio	4
2.3.	Poste extremo	11
2.4.	Poste siguiente extremo	16
3.	Esfuerzos en la base del poste. Alternativa 1.....	23
3.1.	Datos	23
3.2.	Poste intermedio	23
3.3.	Poste extremo	29
3.4.	Poste siguiente al extremo	35
3.5.	Comprobación de pilotes	40
4.	Esfuerzos en la base del poste. Alternativa 3.....	44
4.1.	Datos	44
4.2.	Poste intermedio	44
4.3.	Poste extremo	51
4.4.	Poste siguiente al extremo	57
4.5.	Comprobación de zapata	63
4.6.	Dimensionamiento de armadura de zapata	65
4.7.	Cálculo de la cuantía de acero en cada zapata	67
5.	Esfuerzos en la base del poste. Alternativa 2	69
5.1.	Planteamiento y datos	69
5.2.	Capacidad portante del terreno	69
5.3.	Presión transmitida de contacto	69

1. Objetivo y alcance

El siguiente anejo tiene como objetivo determinar los esfuerzos que los postes y los paneles de la pantalla acústica de estudio transmiten a la cimentación en cada una de las alternativas, tanto para la solución de proyecto como para la alternativa 1 y alternativa 3. Todo ello, con el objetivo de verificar que todas las alternativas estudiadas son válidas y ejecutables en el tramo de estudio situado en el municipio de Carcaixent (Valencia), en el nuevo acceso ferroviario de Alta Velocidad de Levante.

Los esfuerzos considerados son el momento flector, el cortante y el axil de la sección de empotramiento del poste en la cimentación, es decir, en la solución de proyecto y en la alternativa 1 en la cara superior del encepado y en la cara superior de la zapata para la alternativa 3. Además, se ha tomado como referencia el Anejo N°4 de este estudio y los datos obtenidos en el Anejo N°5, donde se han calculado las acciones del viento y presiones aerodinámicas sobre la pantalla y los esfuerzos resultantes en los postes para cada solución. Para el cálculo de los esfuerzos, se ha considerado que la combinación mas desfavorable se consigue al combinar: los axiles como acciones permanentes, al tratarse de una acción que comprime el encepado, la acción aerodinámica del paso del tren como acción principal dominante en entornos ferroviarios de alta velocidad y la acción del viento como variable.

2. Esfuerzos en la base del poste. Solución de proyecto.

2.1. Datos

- Altura sobre carril: 6,00 m
- Altura de la pantalla: 7,00 m
- Separación entre postes: 4,00 m
- Presión sobre la superficie vertical de los postes centrales (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 1,12kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 0,53kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 2,24kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 1,05kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los paneles centrales (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 0,99kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 0,46kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los paneles extremos (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 1,97kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 0,93kN/m^2$
- Presión del viento (q_w):
 $Pressure (zona A) = 3,84kN/m^2$
 $Pressure (zona B) = 3,16kN/m^2$
 $Pressure (zona C) = 1,92kN/m^2$
 $Pressure (zona D) = 1,35kN/m^2$
- Peso propio del perfil. HEB-340
 $134 kg/ml$
- Peso propio de panel metálico:
 $20/M/4X1 = 29 kg/m^2$
 $15/M/4X1 = 23 kg/m^2$
- Peso propio de panel de metacrilato:
 $IT5R = 92 kg/panel$
 $IT1.2R = 74 kg/panel$
 $IT1.1R = 69 kg/panel$

2.2. Poste intermedio

Análisis y resolución de incompatibilidades constructivas en la implantación de pantallas acústicas ferroviarias: estudio de alternativas de cimentación y optimización mediante Lean Construction (Carcaixent)

El poste intermedio es el caso general de la pantalla, recibe la carga aerodinámica y del viento respectiva de los dos vanos adyacentes.

2.2.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

La acción aerodinámica producida por el viento, q_{DS} , sobre cada elemento de pantalla, ya se calculó en el Anejo 5 del estudio. Para los postes intermedios se emplean los valores de q_{DS} correspondientes a los postes centrales.

Presión sobre la superficie vertical de los postes centrales (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 1,12 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 0,53 \text{ kN/m}^2$$

Dichos valores, están definidos por unidad de superficie, por lo que es necesario transformarlos en una carga lineal aplicada al poste. Para ello, se emplea una longitud de influencia equivalente, l_m , la cual tiene en cuenta que la carga no se transmite de manera uniforme a lo largo del poste, sino con una distribución no lineal entre vanos.

$$q_{post} = q_{DS} \times l_m$$

- q_{DS} : presión sobre la superficie vertical de los postes centrales
- l_m : longitud de influencia equivalente

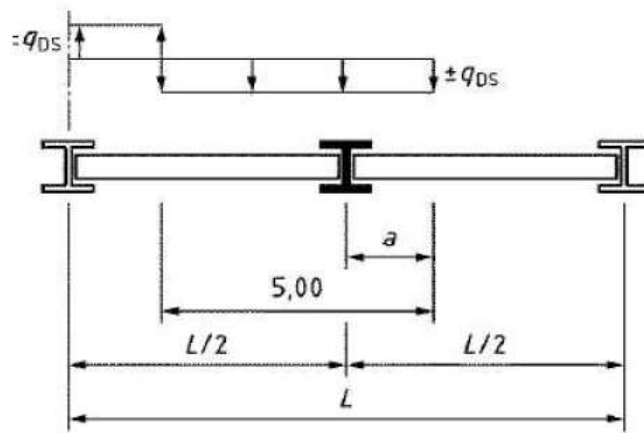


Figura 1. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre postes intermedios, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

$$\alpha = 2,50 - 0,83 \times \left(\left(\frac{L}{5} \right) - 1 \right)$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,2 \text{ m}$$

Para obtener el valor de l_m se necesita realizar una interpolación de la tabla de longitud equivalentes, válida para longitudes de entre 5,00 y 15,00 metros.

Tabla 1. Longitud equivalente, l_m . Fuente: proyecto base.

L (m)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
l_m (m)	2,50	3,19	3,33	3,25	3,06

$$l_m = 3,22m$$

La carga lineal resultante sobre el poste es:

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times l_m = 1,12 \times 3,22 = 3,60kN/m$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times l_m = 0,53 \times 3,22 = 1,69kN/m$$

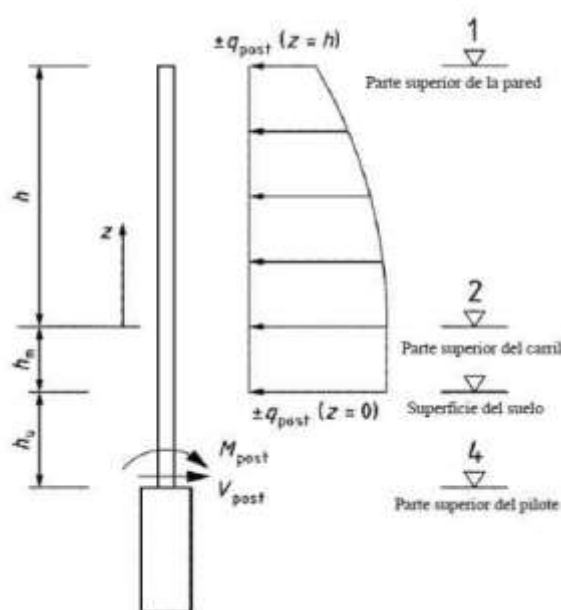


Figura 2. Distribución de la presión aerodinámica $q(post)$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 6,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

A partir de la distribución trapezoidal de carga entre la coronación y su empotramiento en la cimentación, se obtiene el cortante y el momento flector en la base:

Cortante

$$V_{post} = \left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{post} = \left(1,69 \frac{kN}{m} \times (6m + 1m) \right) + \left(\left(\frac{3,60kN}{m} - \frac{1,69kN}{m} \right) \times \frac{6m + 1m}{2} \right)$$

$$V_{post} = 21,37kN$$

Momento flector

$$M_{post} = \left((q_{post.coronación} \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left((q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2}) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{post} = \left(\left(1,69 \frac{kN}{m} \times (6m + 1m) \right) \times \left(\frac{6m + 1m}{2} + 0,5m \right) \right) + \left((3,60 - 1,69) \frac{kN}{m} \times (6m + 1m) \right) \times \left(\frac{6m + 1m}{3} + 0,5m \right)$$

$$M_{post} = 77,84 kNm$$

2.2.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

La presión del viento sobre el poste intermedio se obtiene a partir de la presión de viento, para cada una de las cuatro zonas en las que se divide la longitud de la pantalla, calculada en el Anejo 5.

Al ser un poste intermedio, alejado de la pantalla, se utiliza la presión de la zona D, la más baja y representativa del tramo central:

Presión del viento en zona D (q_w):

$$q_w = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

Alturas

$$h = 6,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times s(m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 1,35 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 4(m)$$

$$q_w = 5,42 \text{ kN/m}$$

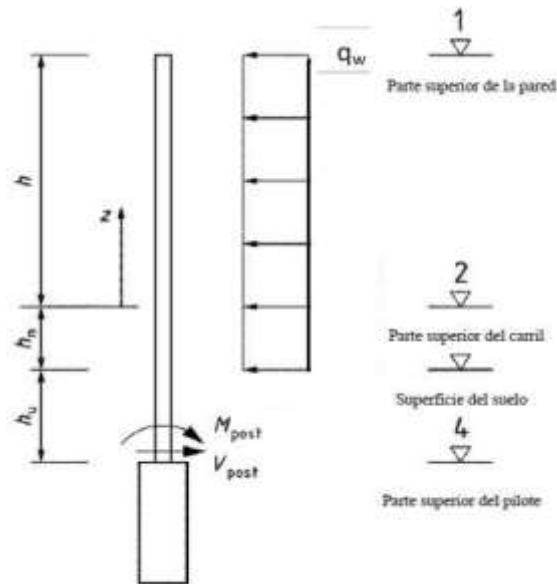


Figura 3. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Aplicando la presión lineal que se ejerce sobre cada poste, desde la coronación hasta el empotramiento, se obtiene el cortante y el momento flector:

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 5,42 \text{ kN/m} \times (6\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 37,94\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(5,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (6\text{m} + 1\text{m})\right) \times \left(\frac{6\text{m} + 1\text{m}}{2} + 0,5\text{m}\right)$$

$$M_{post} = 151,76\text{kNm}$$

2.2.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos (Axil)

El axil en la base del poste se calcula como la suma de los pesos propios de los elementos implicados; el propio perfil y los paneles de la pantalla.

Perfil HEB-340

$$N_k = PP_{poste} \times \text{Altura}$$

$$PP_{Poste} = 134 \text{ kg/ml}$$

$$Altura = 7,50 \text{ m}$$

$$Nk = 134 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} \times 7,50 \text{ m}$$

$$Nk_{Poste} = 10,05 \text{ kN}$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 4 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 8 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{Poste} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{Panel} (IT1.1R) = 69 \text{ kg/panel} = 34,5 \text{ kg/m}^2$$

$$Altura = 4,00 \text{ m}$$

$$Ancho = 4,00 \text{ m}$$

$$Nk = 34,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,00 \text{ m} \times 4,00 \text{ m}$$

$$Nk_{met} = 5,52 \text{ kN}$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 3 paneles de metacrilato, que son a su vez, 12 m².

$$Nk = PP_{Panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{metacrilato} (15) = 23 \text{ kg/m}^2$$

$$Altura = 3,00 \text{ m}$$

$$Ancho = 4,00 \text{ m}$$

$$Nk = 23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,00 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}$$

$$Nk_{PMA} = 2,76 \text{ kN}$$

2.2.4. Estado límite último

Los esfuerzos característicos obtenidos en los apartados anteriores se combinan conforme al EC1-4, ponderando las acciones variables, viento y la acción aerodinámica del paso del tren, con sus respectivos coeficientes de combinación.

Axil

$$N_d = (Nk_{Poste} + Nk_{met} + Nk_{PMA}) \times \gamma$$

$$\gamma_G = 1,00 \text{ (Coeficiente cargas permanentes favorables)}$$

$$N_d = (10,50 + 5,52 + 2,76) \times 1,00$$

$$N_d = 18,78 \text{ kN}$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = ((37,94 \text{ kN} \times \psi_0) + (21,37 \text{ kN} \times 1,00)) \times 1,5$$

$$\psi_0 = 0,6 \text{ Coeficiente aplicado al viento}$$

$$\psi_p = 1,00 \text{ Acción principal – paso de los trenes}$$

$$\gamma_q = 1,50$$

$$V_d = 66,20kN$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = ((151,7kNm \times 0,6) + (77,84kNm \times 1,00) \times 1,50$$

$$M_d = 253,29kNm$$

2.2.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{7,5m}{150} = 0,05m = 5,00cm$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 7,50m$$

- E : el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210000000t/m^2$$

- I : es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36.656cm^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 5,42 kN/m$$

$$f = 5,42 \times 7,5^4 / (8 \times 21.000.000 \times 36,656 \times 10^{-8})$$

$$f = 2,77cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 5,00cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

2.3. Poste extremo

2.3.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

El poste extremo, es el último poste del tramo de la pantalla acústica, y por lo tanto solo tiene panel a un lado, el lado interior. Por ello, su longitud de influencia es solamente la mitad del vano, 2 metros y recibe la presión aerodinámica doble asociada a los postes extremos calculada en el Anejo 5.

- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 2,24 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

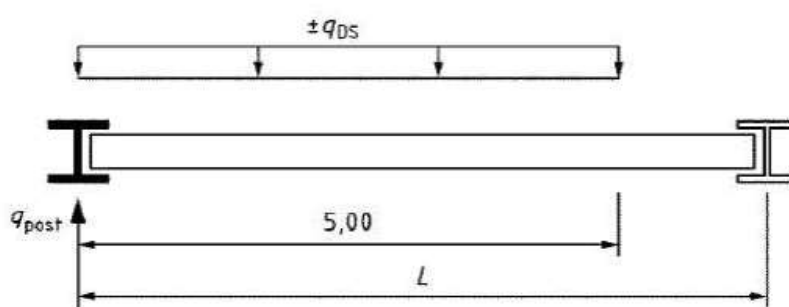


Figura 4. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre poste extremo, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

$$L = 4,00 \text{ m}$$

Para calcular la carga lineal sobre el poste extremo, tenemos en cuenta la presión aerodinámica que reciben dichos postes (q_{DS}), que es el doble que los postes centrales y su área de influencia que es la mitad del vano:

- Área de influencia: 2 metros.

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times \frac{L}{2} = 2,24 \times 2,00 = 4,47 \text{ kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times \frac{L}{2} = 1,05 \times 2,00 = 2,10 \text{ kN/m}$$

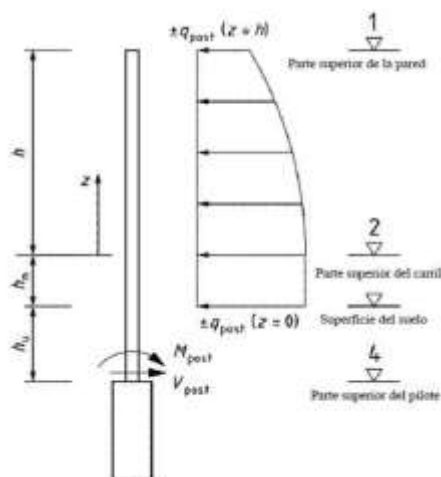


Figura 5. Distribución de la presión aerodinámica $q(post)$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 6,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

De la distribución de esta carga entre coronación y empotramiento, se obtiene:

Cortante

$$V_{post} = \left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{post} = \left(2,10 \frac{kN}{m} \times (6m + 1m) \right) + \left(\left(\frac{4,47kN}{m} - \frac{2,10kN}{m} \right) \times \frac{6m + 1m}{2} \right) \times \frac{4}{3}$$

$$V_{post} = 25,76kN$$

Momento flector

$$M_{post} = \left(\left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{post} = \left(\left(2,10 \frac{kN}{m} \times (6m + 1m) \right) \times \left(\frac{6m + 1m}{2} + 0,5m \right) \right) + \left(\left((4,47 - 2,10) \frac{kN}{m} \times \left(\frac{6m + 1m}{2} \right) \right) \times \frac{4}{3} \times \left(\frac{6m + 1m}{3} + 0,5m \right) \right)$$

$$M_{post} = 93,64kNm$$

2.3.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

La presión del viento, al tratarse del poste extremo de la pantalla, se considera la zona más

Análisis y resolución de incompatibilidades constructivas en la implantación de pantallas acústicas ferroviarias: estudio de alternativas de cimentación y optimización mediante Lean Construction (Carcaixent)

desfavorable, la zona A, de 2,10 metros de longitud. No obstante, como la zona A tiene una longitud menor a 4 metros, longitud del vano, se tienen en cuenta las dos. Cogiendo finalmente la presión en la zona A como criterio de diseño al ser la más restrictiva.

Alturas

$$h = 6,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona A (q_w):

$$q_w = 3,84 \text{ kN/m}^2$$

Presión del viento en zona B (q_w):

$$q_w = 3,16 \text{ kN/m}^2$$

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times L_{influencia} (m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 3,84 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 2 (m)$$

$$q_w = 7,68 \text{ kN/m}$$

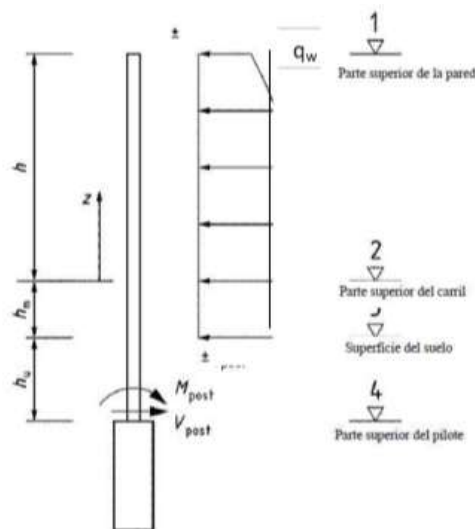


Figura 6. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Cortante

Análisis y resolución de incompatibilidades constructivas en la implantación de pantallas acústicas ferroviarias: estudio de alternativas de cimentación y optimización mediante Lean Construction (Carcaixent)

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 7,68 \text{ kN/m} \times (6\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 53,76\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(7,68 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (6\text{m} + 1\text{m})\right) \times \left(\frac{6\text{m} + 1\text{m}}{2} + 0,5\text{m}\right)$$

$$M_{post} = 215,04\text{kNm}$$

2.3.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos

El peso propio, se calcula de la misma manera que en el apartado anterior, con el mismo perfil HEB-340 ya que como dicha pantalla acústica se solapa a ambos lados con otras, los postes de extremos no necesitan ser mayores. También se calculan con la misma tipología de panel, definida en el despiece de la pantalla del Anejo 5.

Perfil HEB-340

$$Nk = PP_{Poste} \times Altura$$

$$PP_{Poste} = 134\text{kg/ml}$$

$$Altura = 7,50\text{m}$$

$$Nk = 134 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} \times 7,50\text{m}$$

$$Nk_{Poste} = 10,50 \text{ kN}$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 4 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 8 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{Poste} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{Panel} (IT1.1R) = 69 \text{ kg/panel} = 34,5\text{kg/m}^2$$

$$Altura = 4,00\text{m}$$

$$Ancho = 4,00\text{m}$$

$$Nk = 34,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,00\text{m} \times 4,00\text{m}$$

$$Nk_{met} = 5,52 \text{ kN}$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 3 paneles de metacrilato, que son a su vez, 12 m².

$$Nk = PP_{panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{metacrilato}(15) = 23 \text{ kg/m}^2$$

$$Altura = 3,00 \text{ m}$$

$$Ancho = 4,00 \text{ m}$$

$$Nk = 23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,00 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}$$

$$Nk_{PMMMA} = 2,76 \text{ kN}$$

2.3.4. Estado límite último

Axil

$$N_d = (Nk_{poste} + Nk_{met} + Nk_{PMMMA}) \times \gamma$$

$$\gamma = 1,00$$

$$N_d = (10,50 + 5,52 + 2,76) \times 1,00$$

$$N_d = 18,78 \text{ kN}$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = ((53,76 \text{ kN} \times 0,6) + 25,76 \text{ kN}) \times 1,50$$

$$V_d = 87,02 \text{ kN}$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = ((215,04 \text{ kNm} \times 0,6) + 93,64 \text{ kNm}) \times 1,50$$

$$V_d = 334,00 \text{ kNm}$$

2.2.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{7,5 \text{ m}}{150} = 0,05 \text{ m} = 5,00 \text{ cm}$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H: la altura de la pantalla.

$$H = 7,50m$$

- E: el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 21000000t/m^2$$

- I: es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36.656cm^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 7,68 kN/m$$

$$f = 7,68 \times 7,5^4 / (8 \times 21.000.000 \times 36,656 \times 10^{-8})$$

$$f = 3,95cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 5,00cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

2.4. Poste siguiente extremo

Se comprueba además el poste inmediatamente posterior al extremo, situado en una posición donde recibe esfuerzo de los paneles que se colocan a ambos lados, pero todavía en la zona de mayor presión de viento, zona B.

2.4.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

La acción aerodinámica del paso de los trenes se obtiene con el mismo procedimiento del poste intermedio, pero con la presión del viento de la zona B, cuya longitud es de 11,90 metros y abarca los dos primeros vanos junto al extremo.

$$q_{post} = q_{DS} \times I_m$$

- q_{DS} : presión sobre la superficie vertical de los postes centrales
- I_m : longitud de influencia equivalente

Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 2,24 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

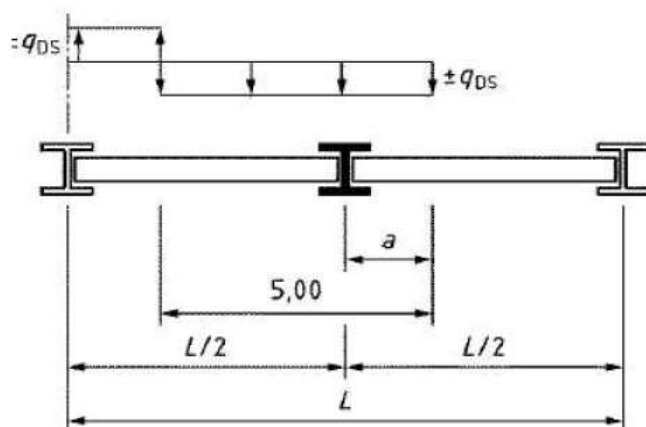


Figura 7. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre el poste siguiente al extremo, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

Válido para L entre 5 y 15 metros

$$\alpha = 2,50 - 0,83 \times \left(\left(\frac{L}{5} \right) - 1 \right)$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,2 \text{ m}$$

Tabla 2. Longitud equivalente, l_m (m). Fuente: proyecto base.

L (m)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
l_m (m)	2,50	3,19	3,33	3,25	3,06

$$I_m = 3,22 \text{ m}$$

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times I_m = 2,24 \times 3,22 = 7,21 \text{ kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times I_m = 1,05 \times 3,22 = 3,38 \text{ kN/m}$$

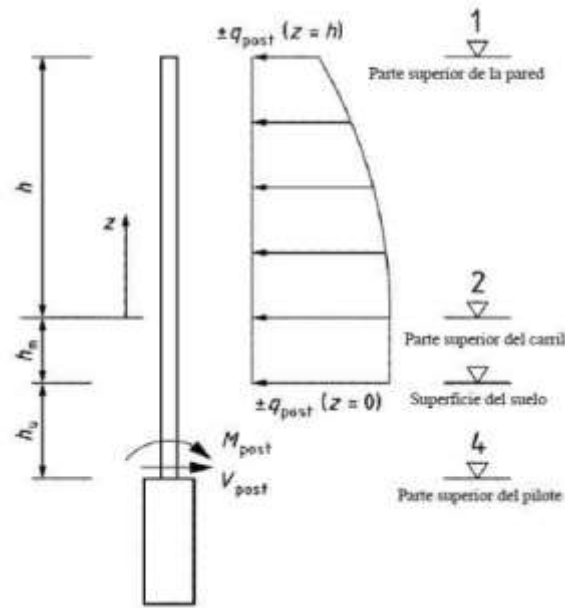


Figura 8. Distribución de la presión aerodinámica $q(\text{post})$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 6,00\text{m}$$

$$h_m = 1\text{m}$$

$$h_u = 0,5\text{m}$$

Cortante

$$V_{\text{post}} = \left(q_{\text{post.coronación}} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{\text{post.base}} - q_{\text{post.coronación}} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{\text{post}} = \left(3,38 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (6\text{m} + 1\text{m}) \right) + \left(\left(\frac{7,21\text{kN}}{\text{m}} - \frac{3,38\text{kN}}{\text{m}} \right) \times \frac{6\text{m} + 1\text{m}}{2} \right) \times \frac{4}{3}$$

$$V_{\text{post}} = 41,53\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{\text{post}} = \left(\left(q_{\text{post.coronación}} \times (h + h_m) \right) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{\text{post.base}} - q_{\text{post.coronación}} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{\text{post}} = \left(\left(3,38 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (6\text{m} + 1\text{m}) \right) \times \left(\frac{6\text{m} + 1\text{m}}{2} + 0,5\text{m} \right) \right) + \left(\left((7,21 - 3,38) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times \frac{(6\text{m} + 1\text{m})}{2} \right) \times \left(\frac{6\text{m} + 1\text{m}}{3} + 0,5\text{m} \right) \times \frac{4}{3} \right)$$

$$M_{post} = 148,6 kNm$$

2.4.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

Alturas

$$h = 6,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona B (q_w):

$$q_w = 3,16 \text{ kN/m}^2$$

La zona B, con 11,90 metros de longitud, abarca los dos primeros vanos que se estudian en este apartado.

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times s(m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 3,16 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 4 (m)$$

$$q_w = 12,64 \text{ kN/m}$$

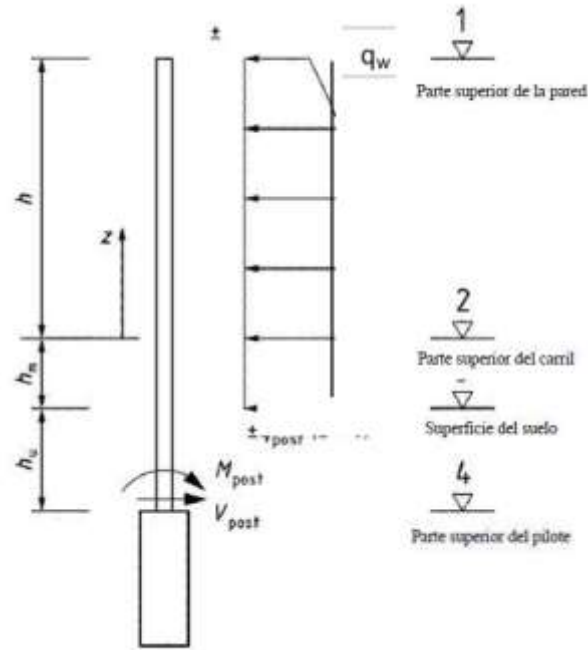


Figura 9. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 12,64 \text{ kN/m} \times (6\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 88,48\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(12,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (6\text{m} + 1\text{m})\right) \times \left(\frac{6\text{m} + 1\text{m}}{2} + 0,5\text{m}\right)$$

$$M_{post} = 353,92\text{kNm}$$

2.4.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos

Perfil HEB-340

$$N_k = PP_{Poste} \times \text{Altura}$$

$$PP_{Poste} = 134\text{kg/ml}$$

$$Altura = 7,50m$$

$$Nk = 134 \frac{kg}{ml} \times 7,50m$$

$$Nk_{Poste} = 10,50 kN$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 4 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 8 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{Poste} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{Panel} (IT1.1R) = 69 kg/panel = 34,5kg/m^2$$

$$Altura = 4,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 34,5 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 4,00m$$

$$Nk_{met} = 5,52 kN$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 3 paneles de metacrilato, que son a su vez, 12 m².

$$Nk = PP_{Panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{metacrilato} (15) = 23kg/m^2$$

$$Altura = 3,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 23 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 3,00m$$

$$Nk_{PMA} = 2,76 kN$$

2.4.4. Estado límite último

Axil

$$N_d = (Nk_{Poste} + Nk_{met} + Nk_{PMA}) \times \gamma$$

$$\gamma = 1,00$$

$$N_d = (10,50 + 5,52 + 2,76) \times 1,00$$

$$N_d = 18,78 kN$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = (41,53kN + (88,53kN \times 0,6)) \times 1,50$$

$$V_d = 141,97kN$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = (148,6kNm + (353,92kNm \times 0,6)) \times 1,5$$

$$M_d = 541,43kNm$$

2.3.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{7,5m}{150} = 0,05m = 5,00cm$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 7,50m$$

- E : el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210000000t/m^2$$

- I : es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36.656cm^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 12,64 kN/m$$

$$f = 12,54 \times 7,5^4 / (8 \times 210.000.000 \times 36,656 \times 10^{-8})$$

$$f = 3,96cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 5,00cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

3. Esfuerzos en la base del poste. Alternativa 1.

3.1. Datos

- Altura sobre carril: 4,00 m
- Altura de la pantalla: 5,00 m
- Separación entre postes: 4,00 m
- Presión sobre la superficie vertical de los postes centrales (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 0,93kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 0,49kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 1,872kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 1,03kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los paneles centrales (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 0,829kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 0,4559kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los paneles extremos (q_{DS})
 $q_{DS}(z = 0) = 1,658kN/m^2$
 $q_{DS}(z = 6) = 0,912kN/m^2$
- Presión del viento (q_w):
 $Pressure (zona A) = 3,48kN/m^2$
 $Pressure (zona B) = 2,86kN/m^2$
 $Pressure (zona C) = 1,74kN/m^2$
 $Pressure (zona D) = 1,23kN/m^2$
- Peso propio del perfil. HEB-340
 $134 kg/ml$
- Peso propio de panel metálico:
 $20/M/4X1 = 29 kg/m^2$
 $15/M/4X1 = 23 kg/m^2$
- Peso propio de panel de metacrilato:
 $IT5R = 92 kg/panel$
 $IT1.2R = 74 kg/panel$
 $IT1.1R = 69 kg/panel$

3.2. Poste intermedio

3.2.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

$$q_{post} = q_{DS} \times I_m$$

- q_{DS} : presión sobre la superficie vertical de los postes centrales
- I_m : longitud de influencia equivalente

Presión sobre la superficie vertical de los postes centrales (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 0,93 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 0,49 \text{ kN/m}^2$$

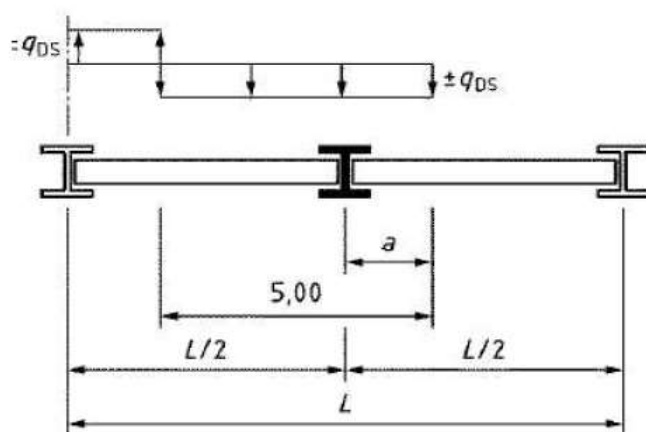


Figura 10. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre postes intermedios, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

Válido para L entre 5 y 15 metros

$$\alpha = 2,50 - 0,83 \times \left(\left(\frac{L}{5} \right) - 1 \right)$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,2 \text{ m}$$

Tabla 3. Longitud equivalente, I_m (m). Fuente: proyecto base.

L (m)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
I_m (m)	2,50	3,19	3,33	3,25	3,06

$$I_m = 3,22 \text{ m}$$

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times I_m = 0,93 \times 3,22 = 3,00 \text{ kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times I_m = 0,49 \times 3,22 = 1,58 \text{ kN/m}$$

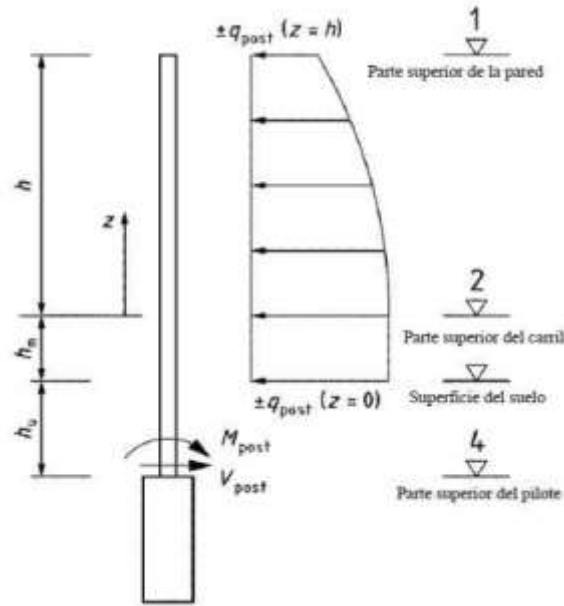


Figura 11. Distribución de la presión aerodinámica $q(post)$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Cortante

$$V_{post} = \left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{post} = \left(1,58 \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) + \left(\left(\frac{3,00kN}{m} - \frac{1,58kN}{m} \right) \times \frac{4m + 1m}{2} \right)$$

$$V_{post} = 11,45kN$$

Momento flector

$$M_{post} = \left(\left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{post} = \left(\left(1,58 \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{2} + 0,5m \right) \right) + \left(\left((3,00 - 1,58) \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{3} + 0,5m \right) \times \frac{4}{3} \right)$$

$$M_{post} = 52,1 kNm$$

3.2.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

Alturas

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona D (q_w):

$$q_w = 1,23 \text{ kN/m}^2$$

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times s(m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 1,23 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 4 (m)$$

$$q_w = 4,92 \text{ kN/m}$$

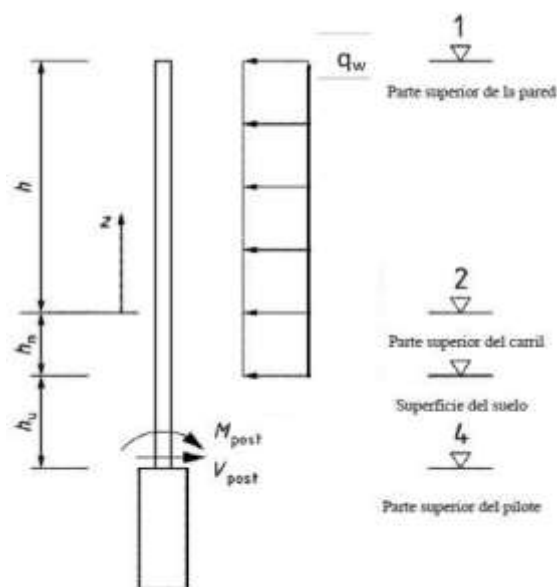


Figura 12. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto Análisis y resolución de incompatibilidades constructivas en la implantación de pantallas acústicas ferroviarias: estudio de alternativas de cimentación y optimización mediante Lean Construction (Carcaixent)

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 4,92 \text{ kN/m} \times (4\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 24,6\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(4,92 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m})\right) \times \left(\frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} + 0,5\text{m}\right)$$

$$M_{post} = 73,8\text{kNm}$$

3.2.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos (Axil)

Perfil HEB-340

$$Nk = PP_{poste} \times \text{Altura}$$

$$PP_{poste} = 134\text{kg/ml}$$

$$\text{Altura} = 5,50\text{m}$$

$$Nk = 134 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} \times 5,50\text{m}$$

$$Nk_{poste} = 7,37 \text{ kN}$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 6 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{poste} \times \text{Altura} \times \text{Anchura}$$

$$PP_{panel} (IT1.1R) = 69 \text{ kg/panel} = 34,5\text{kg/m}^2$$

$$\text{Altura} = 3,00\text{m}$$

$$\text{Ancho} = 4,00\text{m}$$

$$Nk = 34,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 3,00\text{m} \times 4,00\text{m}$$

$$Nk_{met} = 4,14 \text{ kN}$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 2 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 2 paneles de metacrilato, que son a su vez, 8 m².

$$Nk = PP_{panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{metacrilato}(15) = 23kg/m^2$$

$$Altura = 2,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 23 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 2,00m$$

$$Nk_{P_{MMA}} = 1,84 kN$$

3.2.4. Estado límite último

Axil

$$N_d = (Nk_{Poste} + Nk_{met} + Nk_{P_{MMA}}) \times \gamma$$

$$\gamma = 1,00$$

$$N_d = (7,37 + 4,14 + 1,84) \times 1,00$$

$$N_d = 13,35 kN$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = (11,45kN + (24,6kN \times 0,6)) \times 1,50$$

$$V_d = 39,32kN$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = (52,10kNm + (73,80kNm \times 0,6)) \times 1,5$$

$$M_d = 144,57kNm$$

3.3.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{5,5m}{150} = 0,037m = 3,70cm$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 5,50m$$

- E: el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210.000.000kN/m^2$$

- I: es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36,656cm^4 = 3,6656 \times 10^{-4}m^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 4,92 kN/m$$

$$f = 4,92 \times 5,5^4 / (8 \times 210.000.000 \times 3,6656 \times 10^{-8})$$

$$f = 0,73cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 3,70cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

3.3. Poste extremo

3.3.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

El poste extremo, es el último poste del tramo, y por lo tanto solo tiene panel a un lado, el lado interior. Por ello, su longitud de influencia es solamente la mitad del vano.

- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 1,87kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 1,03kN/m^2$$

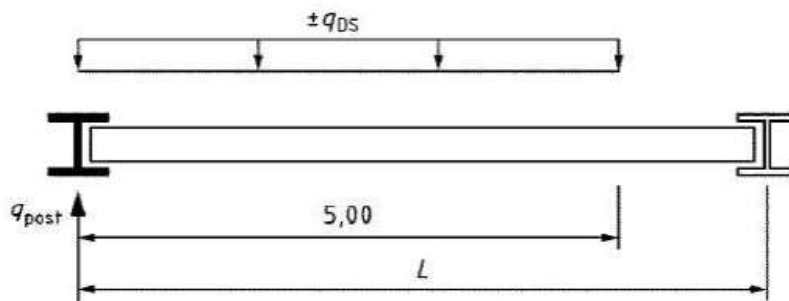


Figura 13. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre poste extremo, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

$$L = 4,00m$$

Para calcular la carga lineal sobre el poste extremo, tenemos en cuenta la presión aerodinámica que reciben dichos postes (q_{DS}), que es el doble que los postes centrales y su área de influencia que es la mitad del vano:

- Área de influencia: 2 metros.

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times \frac{L}{2} = 1,87 \times 2,00 = 3,74 \text{ kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times \frac{L}{2} = 1,03 \times 2,00 = 2,06 \text{ kN/m}$$

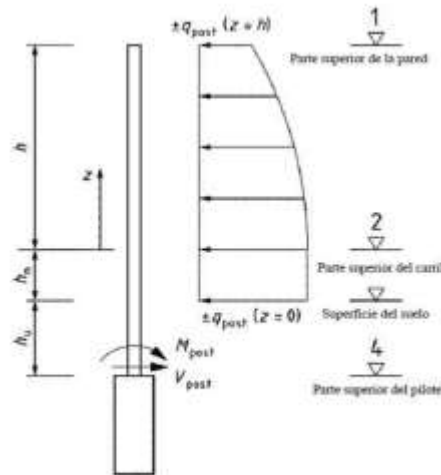


Figura 14. Distribución de la presión aerodinámica $q(post)$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 4,00 \text{ m}$$

$$h_m = 1 \text{ m}$$

$$h_u = 0,5 \text{ m}$$

Cortante

$$V_{post} = \left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{post} = \left(2,06 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4 \text{ m} + 1 \text{ m}) \right) + \left(\left(\frac{3,74 \text{ kN}}{\text{m}} - \frac{2,06 \text{ kN}}{\text{m}} \right) \times \frac{4 \text{ m} + 1 \text{ m}}{2} \right) \times \frac{4}{3}$$

$$V_{post} = 15,9 \text{ kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = \left((q_{post.coronación} \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{post} = \left(\left(2,06 \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{2} + 0,5m \right) \right) + \left((3,74 - 2,06) \frac{kN}{m} \times \left(\frac{4m + 1m}{2} \right) \right) \times \frac{4}{3} \times \left(\frac{4m + 1m}{3} + 0,5m \right)$$

$$M_{post} = 43,03 kNm$$

3.3.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

Alturas

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona A (q_w):

$$q_w = 3,48 \text{ kN/m}^2$$

Como la longitud que abarca la zona A en esta pantalla es de 2,10 metros, menor a 4 metros que es la longitud de un vano, se tiene en cuenta también la presión del viento en la zona B, que abarca una longitud de 11,90 metros.

Presión del viento en zona B (q_w):

$$q_w = 2,86 \text{ kN/m}^2$$

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times L_{influencia} (m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 3,48 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 2 (m)$$

$$q_w = 6,96 \text{ kN/m}$$

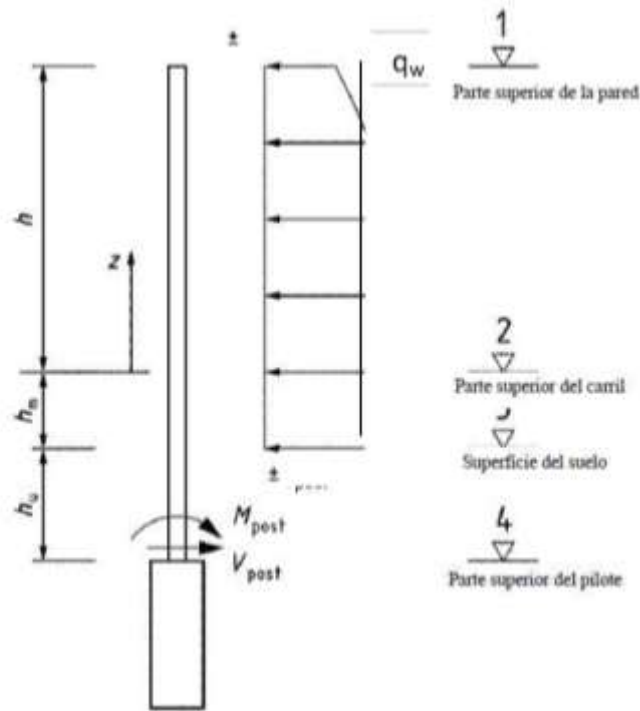


Figura 15. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 6,96 \text{ kN/m} \times (4\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 34,8\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(6,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m})\right) \times \left(\frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} + 0,5\text{m}\right)$$

$$M_{post} = 104,4\text{kNm}$$

3.3.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos

Perfil HEB-340

$$Nk = PP_{\text{poste}} \times \text{Altura}$$

$$PP_{\text{poste}} = 134 \text{ kg/ml}$$

$$\text{Altura} = 5,50 \text{ m}$$

$$Nk = 134 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} \times 5,50 \text{ m}$$

$$Nk_{\text{poste}} = 7,37 \text{ kN}$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 6 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{\text{panel}} \times \text{Altura} \times \text{Anchura}$$

$$PP_{\text{panel}} (\text{IT1.1R}) = 69 \text{ kg/panel} = 34,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Altura} = 3,00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 4,00 \text{ m}$$

$$Nk = 34,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 3,00 \text{ m} \times 4,00 \text{ m}$$

$$Nk_{\text{met}} = 4,14 \text{ kN}$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 2 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 2 paneles de metacrilato, que son a su vez, 8 m².

$$Nk = PP_{\text{panel}} \times \text{Altura} \times \text{Anchura}$$

$$PP_{\text{metacrilato}} (15) = 23 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Altura} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 4,00 \text{ m}$$

$$Nk = 23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,00 \text{ m} \times 2,00 \text{ m}$$

$$Nk_{\text{PMMMA}} = 1,84 \text{ kN}$$

3.3.4. Estado límite último

Axil

$$N_d = (Nk_{\text{poste}} + Nk_{\text{met}} + Nk_{\text{PMMMA}}) \times \gamma$$

$$\gamma = 1,00$$

$$N_d = (7,37 + 4,14 + 1,84) \times 1,00$$

$$N_d = 13,35 \text{ KN}$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = (15,90kN + (34,80kN \times 0,6) \times 1,5 \\ V_d = 55,17kN$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = (43,03kNm + (104,40kNm \times 0,6) \times 1,5 \\ M_d = 158,51kNm$$

3.3.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{5,5m}{150} = 0,037m = 3,70cm$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 5,50m$$

- E : el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210.000.000kN/m^2$$

- I : es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36,656cm^4 = 3,6656 \times 10^{-4}m^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 6,96 kN/m$$

$$f = 6,96 \times 5,5^4 / (8 \times 210.000.000 \times 3,6656 \times 10^{-4})$$

$$f = 1,03cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 3,70cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

3.4. Poste siguiente al extremo

3.4.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

$$q_{post} = q_{DS} \times I_m$$

- q_{DS} : presión sobre la superficie vertical de los postes centrales
- I_m : longitud de influencia equivalente
- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 1,87 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 1,03 \text{ kN/m}^2$$

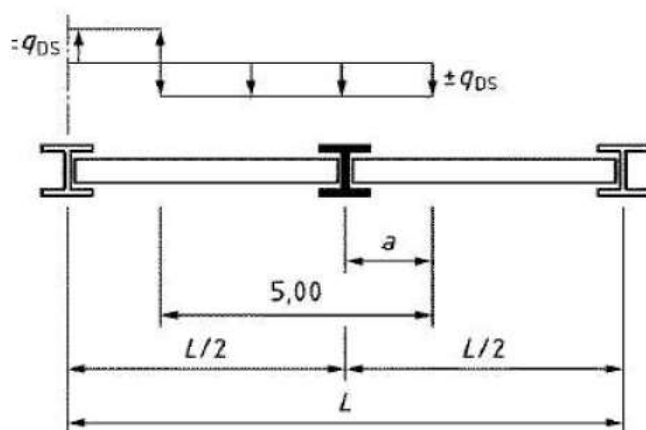


Figura 16. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre el poste siguiente al extremo, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

Válido para L entre 5 y 15 metros

$$\alpha = 2,50 - 0,83 \times \left(\left(\frac{L}{5} \right) - 1 \right)$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,2 \text{ m}$$

Tabla 4. Longitud equivalente, I_m (m). Fuente: proyecto base.

L (m)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
I_m (m)	2,50	3,19	3,33	3,25	3,06

$$I_m = 3,22 \text{ m}$$

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times I_m = 1,87 \times 3,22 = 6,02 \text{ kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times I_m = 1,03 \times 3,22 = 3,31 \text{ kN/m}$$

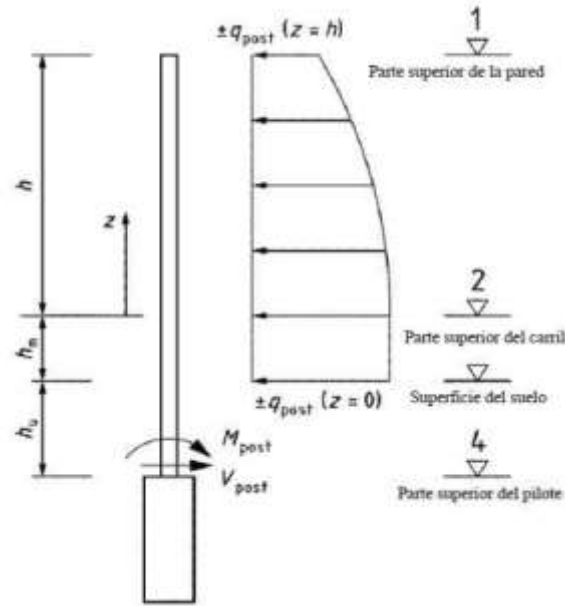


Figura 17. Distribución de la presión aerodinámica $q(post)$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Cortante

$$V_{post} = \left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{post} = \left(3,31 \frac{kN}{m} \times (6m + 1m) \right) + \left(\left(\frac{6,02kN}{m} - \frac{3,31kN}{m} \right) \times \frac{4m + 1m}{2} \right) \times \frac{4}{3}$$

$$V_{post} = 25,58kN$$

Momento flector

$$M_{post} = \left(\left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{post} = \left(\left(3,31 \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{2} + 0,5m \right) \right) + \left(\left((6,02 - 3,31) \frac{kN}{m} \times \frac{(4m + 1m)}{2} \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{3} + 0,5m \right) \times \frac{4}{3} \right)$$

$$M_{post} = 85,77 kNm$$

3.4.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

Alturas

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 0,5m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona B (q_w):

$$q_w = 2,86 \text{ kN/m}^2$$

La zona B, con 11,90 metros de longitud, abarca los dos primeros vanos que se estudian en este apartado.

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times s(m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 2,86 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 4 (m)$$

$$q_w = 11,44 \text{ kN/m}$$

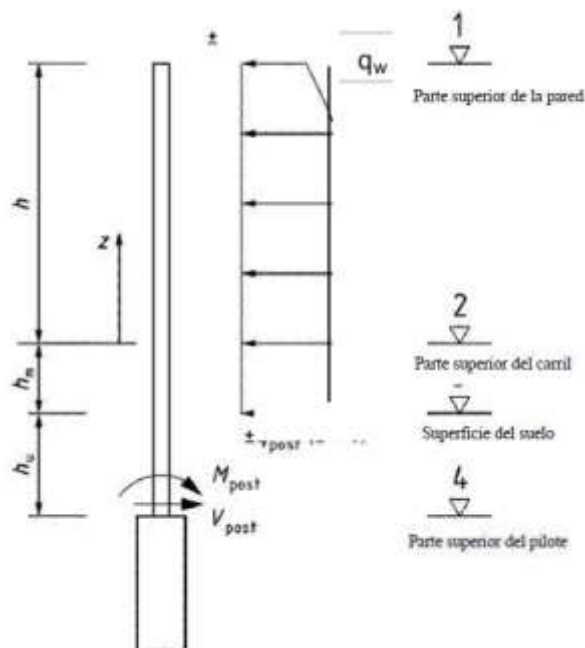


Figura 18. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 11,44 \text{ kN/m} \times (4\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 57,20\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(11,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m})\right) \times \left(\frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} + 0,5\text{m}\right)$$

$$M_{post} = 171,6\text{kNm}$$

3.4.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos

Perfil HEB-340

$$N_k = PP_{Poste} \times \text{Altura}$$

$$PP_{Poste} = 134\text{kg/ml}$$

$$Altura = 5,50m$$

$$Nk = 134 \frac{kg}{ml} \times 5,50m$$

$$Nk_{Poste} = 7,37 kN$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 6 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{Poste} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{Panel} (IT1.1R) = 69 kg/panel = 34,5kg/m^2$$

$$Altura = 3,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 34,5 \frac{kg}{m^2} \times 3,00m \times 4,00m$$

$$Nk_{met} = 4,14 kN$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 2 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 2 paneles de metacrilato, que son a su vez, 8 m2.

$$Nk = PP_{Panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{metacrilato} (15) = 23kg/m^2$$

$$Altura = 2,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 23 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 2,00m$$

$$Nk_{PMA} = 1,84 kN$$

3.4.4. Estado límite último

Axil

$$N_d = (Nk_{Poste} + Nk_{met} + Nk_{PMA}) \times \gamma$$

$$\gamma = 1,00$$

$$N_d = (7,37 + 4,14 + 1,84) \times 1,00$$

$$N_d = 13,35 kN$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = (25,58kN + (57,2kN \times 0,6)) \times 1,50$$

$$V_d = 89,85kN$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = (171,6kNm \times 0,6) + 85,77kNm) \times 1,5$$

$$M_d = 283,10kNm$$

3.4.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{5,5m}{150} = 0,037m = 3,70cm$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 5,50m$$

- E : el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210.000.000kN/m^2$$

- I : es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36,656cm^4 = 3,6656 \times 10^{-4}m^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 11,44 kN/m$$

$$f = 11,44 \times 5,5^4 / (8 \times 21.000.000 \times 36,656 \times 10^{-8})$$

$$f = 1,70cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 3,70cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

3.5. Comprobación de pilotes

Los encepados de 2 y 3 pilotes adoptados para la Alternativa 1 se basan en un diseño ya ejecutado para una pantalla próxima, es decir, con características similares a esta. Este

Análisis y resolución de incompatibilidades constructivas en la implantación de pantallas acústicas ferroviarias: estudio de alternativas de cimentación y optimización mediante Lean Construction (Carcaixent)

apartado verifica que los esfuerzos reales transmitidos por el poste a la base son compatibles con la capacidad de los pilotes.

3.5.1. Capacidad admisible del pilote

La capacidad admisible de un pilote se ha calculado en el Anejo 4, capacidad portante del suelo, teniendo en cuenta el Anejo 3, de geotecnia del proyecto base.

	Trabajo	Q_{adm}
Capacidad admisible del pilote	Compresión	398,38kN
Capacidad admisible del pilote	Tracción	58,8kN

3.5.2. Reparto de esfuerzos del poste al encepado

Encepados de 2 pilotes

El encepado cuenta con dos pilotes simétricos respecto al eje de la pantalla, separados una distancia s , de 1,60 metros. Para un encepado sometido a un axil y a un momento flector, la carga sobre cada pilote se obtiene:

$$N_{pilote} = N/2 \pm M/s$$

$$s = 1,60m$$

Teniendo en cuenta que el peso propio del encepado:

$$PP_{encepado} = 2,75m \times 1,15m \times 0,85m \times 25kN/m^3$$

$$PP_{encepado} = 67,20kN$$

- Poste intermedio

$$N_d = 13,35 KN$$

$$N_t = N_d + N_{encepado} = 13,35 + 67,20$$

$$N_t = 80,55kN$$

$$M_d = 144,57 KNm$$

$$N_{pilote} = 80,55/2 \pm 144,57/1,60$$

$$N_{pilote}(compresión) = 130,63kN$$

$$N_{pilote}(tracción) = -50,08kN$$

	Esfuerzo	Q_{adm}	
Compresión	130,63kN	398,38kN	Cumple
Tracción	50,08kN	58,8kN	Cumple

- Poste extremo

$$N_d = 13,35 KN$$

$$N_t = N_d + N_{encepado} = 13,35 + 67,20$$

$$N_t = 80,55kN$$

$$M_d = 158,51 KNm$$

$$N_{pilote} = 80,55/2 \pm 158,51/1,60$$

$$N_{pilote}(compresión) = 139,34kN$$

$$N_{pilote}(tracción) = -58,79kN$$

	Esfuerzo	Q_{adm}	
Compresión	139,34kN	398,38kN	Cumple
Tracción	58,79kN	58,8kN	Cumple

- Poste siguiente al extremo

$$N_d = 13,35 KN$$

$$N_t = N_d + N_{encepado} = 13,35 + 67,20$$

$$N_t = 80,55kN$$

$$M_d = 283,10 KNm$$

$$N_{pilote} = 80,55/2 \pm 283,10/1,60$$

$$N_{pilote}(compresión) = 217,21kN$$

$$N_{pilote}(tracción) = -136,66kN$$

	Esfuerzo	Q_{adm}	
Compresión	217,21kN	398,38kN	Cumple
Tracción	136,66kN	58,8kN	No cumple

Encepados de 3 pilotes

Los encepados de 3 pilotes están separados unos de otros, 1,30 metros de la siguiente manera, $y = -1,30/0/+1,30m$, lo cual hace que el reparto de esfuerzos que absorbe de los postes no sea igual en todos los pilotes.

$$N_{pilote} = N/3 \pm M \times y/\Sigma y^2$$

$$\Sigma y^2 = 1,30^2 + 0^2 + 1,30^2 = 3,38m^2$$

Teniendo en cuenta que el peso propio del encepado:

$$PP_{encepado} = 3,75m \times 1,15m \times 1,30m \times 25kN/m^3$$

$$PP_{encepado} = 140,15kN$$

- Poste siguiente al extremo

Esta solución sustituye al encepado de dos pilotes en el poste siguiente al extremo que hemos comprobado que no cumple y que pertenece a la viga V-5 del plano.

$$N_d = 13,35 KN$$

$$N_t = N_d + N_{encepado} = 13,35 + 140,15$$

$$N_t = 153,51kN$$

$$M_d = 283,10 KNm$$

$$N_{pilote1-3} = 153,51/3 \pm 283,10 \times 1,30/3,38$$

$$N_{pilote1-3}(compresión) = 160,05kN$$

$$N_{pilote1-3}(tracción) = -57,71kN$$

$$N_{pilote2} = 153,51/3 \pm 283,10 \times 0/3,38$$

$$N_{pilote2}(compresión) = 51,17kN$$

$$N_{pilote2}(tracción) = 51,17kN$$

	Esfuerzo	Q_{adm}	
Compresión	160,05kN	398,38kN	Cumple
Tracción	57,71kN	58,8kN	Cumple

- Poste extremo

$$N_d = 13,35 \text{ KN}$$

$$N_t = N_d + N_{encepado} = 13,35 + 140,15$$

$$N_t = 153,51kN$$

$$M_d = 158,51 \text{ KNm}$$

$$N_{pilote1-3} = 153,51/3 \pm 158,51 \times 1,30/3,38$$

$$N_{pilote1-3}(compresión) = 112,13kN$$

$$N_{pilote1-3}(tracción) = -9,79kN$$

$$N_{pilote2} = 153,51/3 \pm 158,51 \times 0/3,38$$

$$N_{pilote2}(compresión) = 51,17kN$$

$$N_{pilote2}(tracción) = 51,17kN$$

	Esfuerzo	Q_{adm}	
Compresión	112,13kN	398,38kN	Cumple
Tracción	9,79kN	58,8kN	Cumple

Este resultado se aplica para comprobar los encepados de la viga situada a cada lado del paso superior.

4. Esfuerzos en la base del poste. Alternativa 3

4.1. Datos

- Altura sobre carril: 4,00 m
- Altura de la pantalla: 5,00 m
- Separación entre postes: 4,00 m
- Presión sobre la superficie vertical de los postes centrales (q_{DS})
 - $q_{DS}(z = 0) = 0,61kN/m^2$
 - $q_{DS}(z = 6) = 0,34kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})
 - $q_{DS}(z = 0) = 1,22kN/m^2$
 - $q_{DS}(z = 6) = 0,67kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los paneles centrales (q_{DS})
 - $q_{DS}(z = 0) = 0,54kN/m^2$
 - $q_{DS}(z = 6) = 0,30kN/m^2$
- Presión sobre la superficie vertical de los paneles extremos (q_{DS})
 - $q_{DS}(z = 0) = 1,08kN/m^2$
 - $q_{DS}(z = 6) = 0,59kN/m^2$
- Presión del viento (q_w):
 - $Pressure (zona A) = 3,48kN/m^2$
 - $Pressure (zona B) = 2,86kN/m^2$
 - $Pressure (zona C) = 1,74kN/m^2$
 - $Pressure (zona D) = 1,23kN/m^2$
- Peso propio del perfil. HEB-340
 - $134 kg/ml$
- Peso propio de panel metálico:
 - $20/M/4X1 = 29 kg/m^2$
 - $15/M/4X1 = 23 kg/m^2$
- Peso propio de panel de metacrilato:
 - $IT5R = 92 kg/panel$
 - $IT1.2R = 74 kg/panel$
 - $IT1.1R = 69 kg/panel$

4.2. Poste intermedio

4.2.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

$$q_{post} = q_{DS} \times I_m$$

- q_{DS} : presión sobre la superficie vertical de los postes centrales
- I_m : longitud de influencia equivalente

Presión sobre la superficie vertical de los postes centrales (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 0,61 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 0,34 \text{ kN/m}^2$$

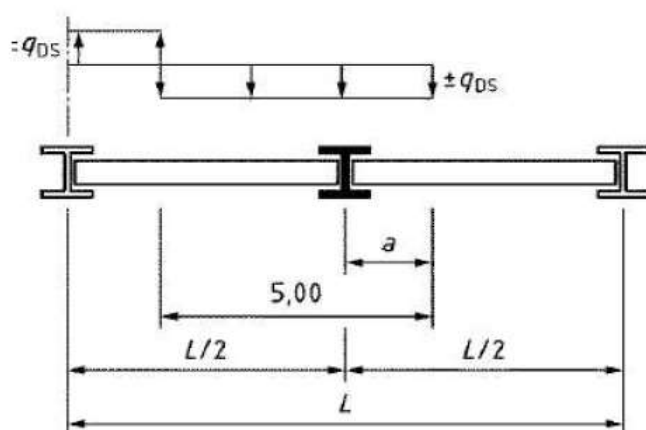


Figura 19. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre postes intermedios, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

Válido para L entre 5 y 15 metros

$$\alpha = 2,50 - 0,83 \times \left(\left(\frac{L}{5} \right) - 1 \right)$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,2 \text{ m}$$

Tabla 5. Longitud equivalente, I_m (m). Fuente: proyecto base.

L (m)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
I_m (m)	2,50	3,19	3,33	3,25	3,06

$$I_m = 3,22 \text{ m}$$

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times I_m = 0,61 \times 3,22 = 1,96 \text{ kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times I_m = 0,34 \times 3,22 = 1,10 \text{ N/m}$$

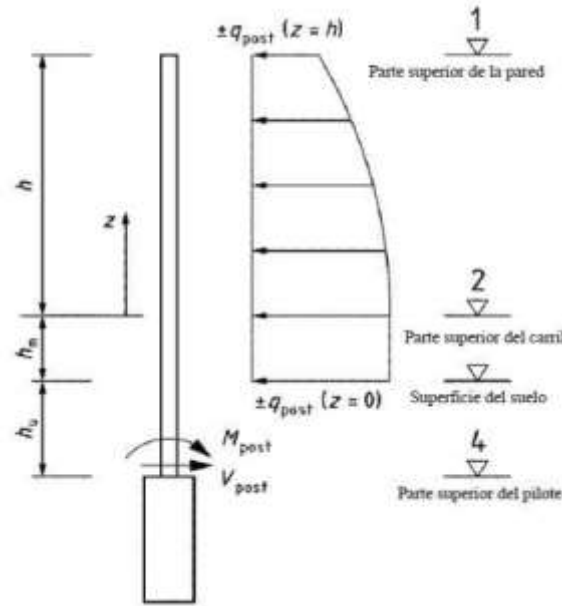


Figura 20. Distribución de la presión aerodinámica $q(\text{post})$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 4,00\text{m}$$

$$h_m = 1\text{m}$$

$$h_u = 1,7\text{m}$$

Cortante

$$V_{\text{post}} = \left(q_{\text{post.coronación}} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{\text{post.base}} - q_{\text{post.coronación}} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{\text{post}} = \left(1,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m}) \right) + \left(\left(\frac{1,96\text{kN}}{\text{m}} - \frac{1,10\text{kN}}{\text{m}} \right) \times \frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} \right)$$

$$V_{\text{post}} = 7,65\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{\text{post}} = \left(\left(q_{\text{post.coronación}} \times (h + h_m) \right) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{\text{post.base}} - q_{\text{post.coronación}} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{\text{post}} = \left(\left(1,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m}) \right) \times \left(\frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} + 1,7\text{m} \right) \right) + \left(\left((1,69 - 1,10) \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m}) \right) \times \left(\frac{4\text{m} + 1\text{m}}{3} + 1,7\text{m} \right) \right)$$

$$M_{post} = 33,03 kNm$$

4.2.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

Alturas

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 1,7m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona D (q_w):

$$q_w = 1,23 \text{ kN/m}^2$$

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times s(m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 1,23 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 4 (m)$$

$$q_w = 4,92 \text{ kN/m}$$

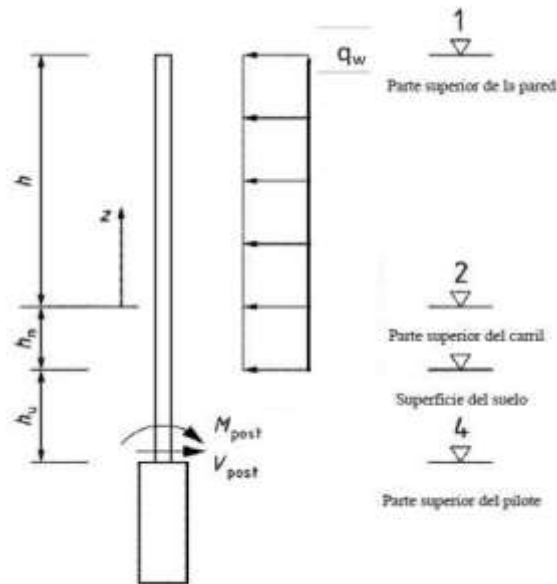


Figura 21. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 4,92 \text{ kN/m} \times (4\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 24,6\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(4,92 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m})\right) \times \left(\frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} + 1,7\text{m}\right)$$

$$M_{post} = 103,32\text{kNm}$$

2.2.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos (Axil)

Perfil HEB-340

$$N_k = PP_{poste} \times \text{Altura}$$

$$PP_{poste} = 134\text{kg/ml}$$

$$\text{Altura} = 6,70\text{m}$$

$$Nk = 134 \frac{kg}{ml} \times 6,70m$$

$$Nk_{Poste} = 8,98 kN$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 6 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{Poste} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{Panel} (IT1.1R) = 69 kg/panel = 34,5kg/m^2$$

$$Altura = 3,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 34,5 \frac{kg}{m^2} \times 3,00m \times 4,00m$$

$$Nk_{met} = 4,14 kN$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 2 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 2 paneles de metacrilato, que son a su vez, 8 m2.

$$Nk = PP_{Panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{metacrilato} (15) = 23kg/m^2$$

$$Altura = 2,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 23 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 2,00m$$

$$Nk_{PMA} = 1,84 kN$$

Zócalo de hormigón

$$Nk = PP_{Panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{hormigón} = 200kg/m^2$$

$$Altura = 1,20m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 200 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 1,20m$$

$$Nk_{zócalo} = 9,6 kN$$

4.2.4. Estado límite último

Axil

$$N_d = (Nk_{Poste} + Nk_{met} + Nk_{PMA} + Nk_{zócalo}) \times \gamma$$

$$\gamma = 1,00$$

$$N_d = (8,98 + 4,14 + 1,84 + 9,60) \times 1,00$$

$$N_d = 24,56 \text{ kN}$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = ((24,6 \text{ kN} \times 0,6) + 7,65 \text{ kN}) \times 1,50$$
$$V_d = 33,62 \text{ kN}$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = ((103,32 \text{ kNm} \times 0,6) + 33,03 \text{ kNm}) \times 1,50$$
$$M_d = 142,53 \text{ kNm}$$

4.2.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{6,70 \text{ m}}{150} = 0,0447 \text{ m} = 4,47 \text{ cm}$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 6,70 \text{ m}$$

- E : el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210.000.000 \text{ kN/m}^2$$

- I : es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36,656 \text{ cm}^4 = 3,6656 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 4,92 \text{ kN/m}$$

$$f = 4,92 \times 6,7^4 / (8 \times 210.000.000 \times 3,6656 \times 10^{-8})$$

$$f = 1,61\text{cm}$$

Como la flecha calculada, es menor a 4,47cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

4.3. Poste extremo

4.3.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

El poste extremo, es el último poste del tramo, y por lo tanto solo tiene panel a un lado, el lado interior. Por ello, su longitud de influencia es solamente la mitad del vano.

- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 1,22\text{kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 0,67\text{kN/m}^2$$

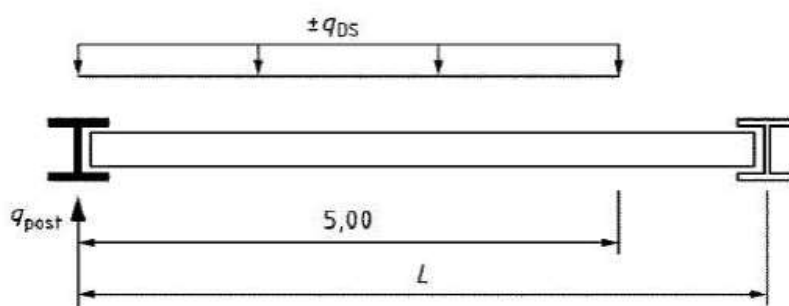


Figura 22. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre poste extremo, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

$$L = 4,00\text{m}$$

Para calcular la carga lineal sobre el poste extremo, tenemos en cuenta la presión aerodinámica que reciben dichos postes (q_{DS}), que es el doble que los postes centrales y su área de influencia que es la mitad del vano:

- Área de influencia: 2 metros.

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times \frac{L}{2} = 1,22 \times 2,00 = 2,44\text{kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times \frac{L}{2} = 0,67 \times 2,00 = 1,34\text{kN/m}$$

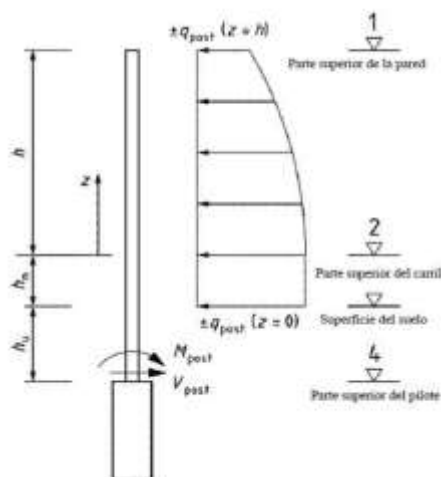


Figura 23. Distribución de la presión aerodinámica $q(post)$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 1,7m$$

Cortante

$$V_{post} = \left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{post} = \left(1,34 \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) + \left((2,44 \frac{kN}{m} - 1,34 \frac{kN}{m}) \times \frac{4m + 1m}{2} \right) \times \frac{4}{3}$$

$$V_{post} = 10,42kN$$

Momento flector

$$M_{post} = \left(\left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{post} = \left(\left(1,34 \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{2} + 1,7m \right) \right) + \left((2,44 - 1,34) \frac{kN}{m} \times \left(\frac{4m + 1m}{2} \right) \right) \times \frac{4}{3} \times \left(\frac{4m + 1m}{3} + 1,7m \right)$$

$$M_{post} = 41,11kNm$$

4.3.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

Alturas

$$\begin{aligned}h &= 4,00m \\h_m &= 1m \\h_u &= 1,70m\end{aligned}$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona A (q_w):

$$q_w = 3,48 \text{ kN/m}^2$$

Como la longitud que abarca la zona A en esta pantalla es de 2,10 metros, menor a 4 metros que es la longitud de un vano, se tiene en cuenta también la presión del viento en la zona B, que abarca una longitud de 11,90 metros.

Presión del viento en zona B (q_w):

$$q_w = 2,86 \text{ kN/m}^2$$

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) = q_w \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \times L_{\text{influencia}} (\text{m})$$

$$q_w \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) = 3,48 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \times 2 (\text{m})$$

$$q_w = 6,96 \text{ kN/m}$$

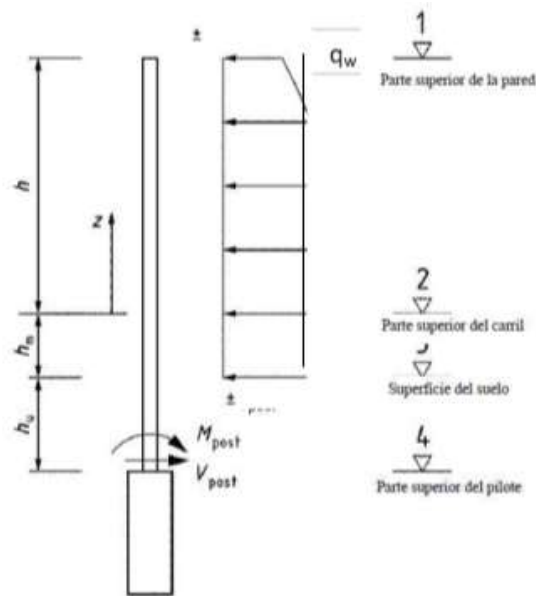


Figura 24. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 6,96 \text{ kN/m} \times (4\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 34,80\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u\right)$$

$$M_{post} = \left(6,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m})\right) \times \frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} + 1,7\text{m})$$

$$M_{post} = 146,16\text{kNm}$$

4.3.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos

Perfil HEB-340

$$Nk = PP_{poste} \times \text{Altura}$$

$$PP_{poste} = 134\text{kg/ml}$$

$$\text{Altura} = 6,70\text{m}$$

$$Nk = 134 \frac{\text{kg}}{\text{ml}} \times 6,70\text{m}$$

$$Nk_{Poste} = 8,98 \text{ kN}$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 6 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$\begin{aligned} Nk &= PP_{Poste} \times Altura \times Anchura \\ PP_{Panel} (IT1.1R) &= 69 \text{ kg/panel} = 34,5 \text{ kg/m}^2 \\ Altura &= 3,00 \text{ m} \\ Ancho &= 4,00 \text{ m} \\ Nk &= 34,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 3,00 \text{ m} \times 4,00 \text{ m} \\ Nk_{met} &= 4,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 2 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 2 paneles de metacrilato, que son a su vez, 8 m².

$$\begin{aligned} Nk &= PP_{Panel} \times Altura \times Anchura \\ PP_{metacrilato} (15) &= 23 \text{ kg/m}^2 \\ Altura &= 2,00 \text{ m} \\ Ancho &= 4,00 \text{ m} \\ Nk &= 23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,00 \text{ m} \times 2,00 \text{ m} \\ Nk_{PMMMA} &= 1,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

Zócalo de hormigón

$$\begin{aligned} Nk &= PP_{Panel} \times Altura \times Anchura \\ PP_{hormigón} &= 200 \text{ kg/m}^2 \\ Altura &= 1,20 \text{ m} \\ Ancho &= 4,00 \text{ m} \\ Nk &= 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 4,00 \text{ m} \times 1,20 \text{ m} \\ Nk_{zócalo} &= 9,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.3.4. Estado límite último

Axil

$$\begin{aligned} N_d &= (Nk_{Poste} + Nk_{met} + Nk_{PMMMA} + Nk_{zócalo}) \times \gamma \\ \gamma &= 1,00 \\ N_d &= (8,98 + 4,14 + 1,84 + 9,60) \times 1,00 \\ N_d &= 24,56 \text{ KN} \end{aligned}$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = (10,42kN + (34,89kN \times 0,60) \times 1,50 \\ V_d = 47,03kN$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = (41,11kNm + (146,16kNm \times 0,6) \times 1,50 \\ M_d = 193,21kNm$$

4.3.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{6,70m}{150} = 0,0447m = 4,47cm$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 6,70m$$

- E : el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210.000.000kN/m^2$$

- I : es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36,656cm^4 = 3,6656 \times 10^{-4}m^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 6,96 kN/m$$

$$f = 6,96 \times 6,7^4 / (8 \times 210.000.000 \times 3,6656 \times 10^{-4})$$

$$f = 2,28cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 4,47cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

4.4. Poste siguiente al extremo

4.4.1. Esfuerzos aerodinámicos producidos por el paso de los trenes

$$q_{post} = q_{DS} \times I_m$$

- q_{DS} : presión sobre la superficie vertical de los postes centrales
- I_m : longitud de influencia equivalente
- Presión sobre la superficie vertical de los postes extremos (q_{DS})

$$q_{DS}(z = 0) = 1,22 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = 0,67 \text{ kN/m}^2$$

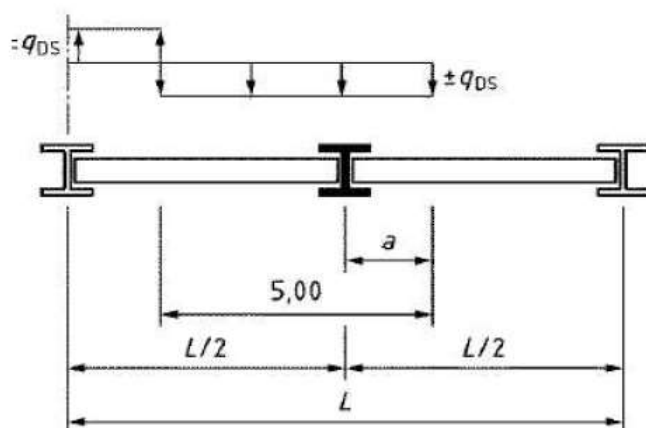


Figura 25. Distribución de la carga aerodinámica por el paso de los trenes sobre el poste siguiente al extremo, en función de la longitud de influencia. Fuente: proyecto a partir de la UNE-EN 16727-2-2.

Válido para L entre 5 y 15 metros

$$\alpha = 2,50 - 0,83 \times \left(\left(\frac{L}{5} \right) - 1 \right)$$

$$L = 8 \text{ m}$$

$$\alpha = 1,2 \text{ m}$$

Tabla 6. Longitud equivalente, I_m (m). Fuente: proyecto base.

L (m)	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
I_m (m)	2,50	3,19	3,33	3,25	3,06

$$I_m = 3,22 \text{ m}$$

$$q_{post}(z = 0) = q_{DS} \times I_m = 1,22 \times 3,22 = 3,93 \text{ kN/m}$$

$$q_{post}(z = 6) = q_{DS} \times I_m = 0,67 \times 3,22 = 2,16 \text{ kN/m}$$

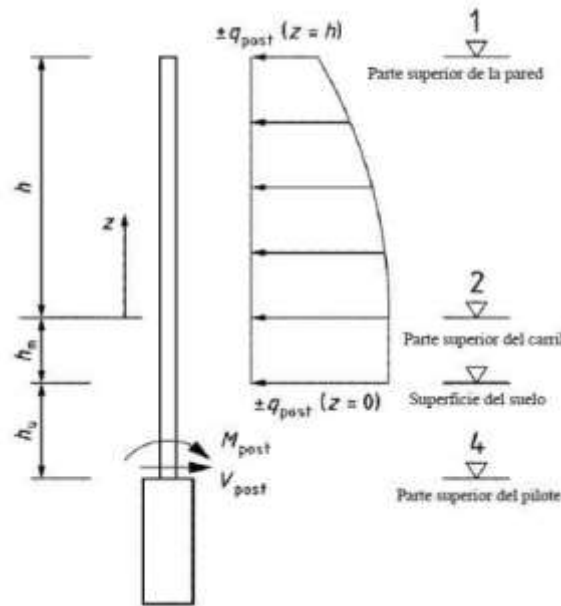


Figura 26. Distribución de la presión aerodinámica $q(post)$ y esfuerzos resultantes en la base del poste. Fuente: proyecto a partir de UNE-EN 16727-2-2.

$$h = 4,00 \text{ m}$$

$$h_m = 1 \text{ m}$$

$$h_u = 1,7 \text{ m}$$

Cortante

$$V_{post} = \left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) + \left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right)$$

$$V_{post} = \left(2,16 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4 \text{ m} + 1 \text{ m}) \right) + \left(\left(\frac{3,93 \text{ kN}}{\text{m}} - \frac{2,16 \text{ kN}}{\text{m}} \right) \times \frac{4 \text{ m} + 1 \text{ m}}{2} \right) \times \frac{4}{3}$$

$$V_{post} = 16,7 \text{ kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = \left(\left(q_{post.coronación} \times (h + h_m) \right) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right) \right) + \left(\left(q_{post.base} - q_{post.coronación} \times \frac{h + h_m}{2} \right) \times \left(\frac{h + h_m}{3} + h_u \right) \right)$$

$$M_{post} = \left(\left(2,16 \frac{kN}{m} \times (4m + 1m) \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{2} + 1,7m \right) \right) + \left((3,93 - 2,16) \frac{kN}{m} \times \frac{(4m + 1m)}{2} \right) \times \left(\frac{4m + 1m}{3} + 1,7m \right) \times \frac{4}{3}$$

$$M_{post} = 65,56 kNm$$

4.4.2. Esfuerzos debidos a la presión del viento

Alturas

$$h = 4,00m$$

$$h_m = 1m$$

$$h_u = 1,7m$$

Separación entre postes

$$s = 4,00$$

Presión del viento en zona B (q_w):

$$q_w = 2,86 \text{ kN/m}^2$$

La zona B, con 11,90 metros de longitud, abarca los dos primeros vanos que se estudian en este apartado.

Presión lineal del viento sobre el poste (q_w):

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = q_w \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times s(m)$$

$$q_w \left(\frac{kN}{m} \right) = 2,86 \left(\frac{kN}{m^2} \right) \times 4 (m)$$

$$q_w = 11,44 \text{ kN/m}$$

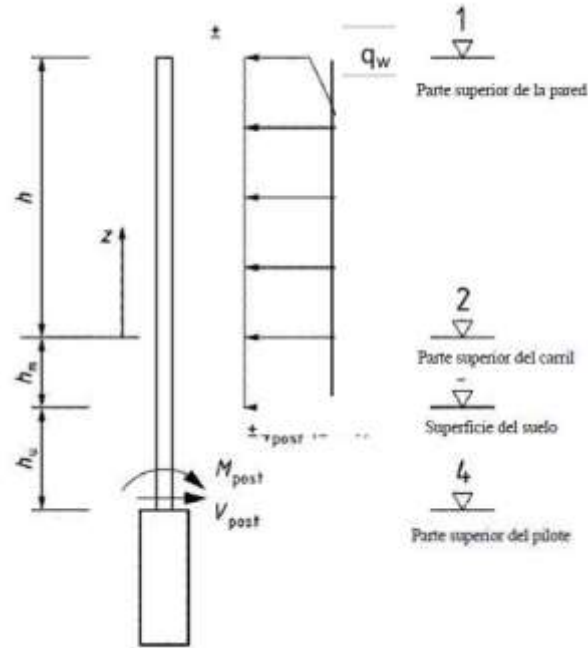


Figura 27. Distribución de la presión del viento a lo largo del poste y esfuerzos resultantes en la base. Fuente: proyecto a partir del EC1-4.

Cortante

$$V_{post} = q_w \times (h + h_m)$$

$$V_{post} = 11,44 \text{ kN/m} \times (4\text{m} + 1\text{m})$$

$$V_{post} = 57,20\text{kN}$$

Momento flector

$$M_{post} = (q_w \times (h + h_m)) \times \left(\frac{h + h_m}{2} + h_u \right)$$

$$M_{post} = \left(11,44 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times (4\text{m} + 1\text{m}) \right) \times \left(\frac{4\text{m} + 1\text{m}}{2} + 1,7\text{m} \right)$$

$$M_{post} = 240,24\text{kNm}$$

4.4.3. Esfuerzos debidos al peso de los elementos

Perfil HEB-340

$$N_k = PP_{Poste} \times \text{Altura}$$

$$PP_{Poste} = 134\text{kg/ml}$$

$$Altura = 6,70m$$

$$Nk = 134 \frac{kg}{ml} \times 6,70m$$

$$Nk_{Poste} = 8,98 kN$$

Panel metálico

Son paneles de 0,5 metro de alto y la pantalla cuenta con 3 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 6 paneles metálicos. Calculando el peso de cada metro cuadrado, teniendo en cada panel 2 metros cuadrados, obtenemos:

$$Nk = PP_{Poste} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{Panel} (IT1.1R) = 69 kg/panel = 34,5kg/m^2$$

$$Altura = 3,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 34,5 \frac{kg}{m^2} \times 3,00m \times 4,00m$$

$$Nk_{met} = 4,14 kN$$

Panel de metacrilato

Son paneles de 1 metro de alto y la pantalla cuenta con 2 metros de metacrilato, por lo tanto, tenemos 2 paneles de metacrilato, que son a su vez, 8 m2.

$$Nk = PP_{Panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{metacrilato} (15) = 23kg/m^2$$

$$Altura = 2,00m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 23 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 2,00m$$

$$Nk_{PMA} = 1,84 kN$$

Zócalo de hormigón

$$Nk = PP_{Panel} \times Altura \times Anchura$$

$$PP_{hormigón} = 200kg/m^2$$

$$Altura = 1,20m$$

$$Ancho = 4,00m$$

$$Nk = 200 \frac{kg}{m^2} \times 4,00m \times 1,20m$$

$$Nk_{zócalo} = 9,6 kN$$

4.4.4. Estado límite último

Axil

$$N_d = (Nk_{Poste} + Nk_{met} + Nk_{PMA} + Nk_{zócalo}) \times \gamma$$

$$\gamma = 1,00$$

$$N_d = (8,98 + 4,14 + 1,84 + 9,60) \times 1,00$$

$$N_d = 24,56 \text{ kN}$$

Cortante

$$V_d = \Sigma V_{post} = (16,7 \text{ kN} + (57,2 \text{ kN} \times 0,6)) \times 1,50$$

$$V_d = 76,53 \text{ kN}$$

Momento flector

$$M_d = \Sigma M_{post} = (65,56 \text{ kNm} + (240,24 \text{ kNm} \times 0,6)) \times 1,50$$

$$M_d = 314,56 \text{ kNm}$$

4.4.5. Estado límite de deformación

El estado límite de deformación se obtiene con el objetivo de comprobar que el límite máximo de flecha admisible, f , es menor o igual a 5,00cm, en este caso.

$$d_{max} = \frac{H}{150} = \frac{6,7 \text{ m}}{150} = 0,0447 \text{ m} = 4,47 \text{ cm}$$

Este límite lo establece el Eurocódigo EC1-4 para pantallas acústicas ferroviarias, como límite de deformación, desplazamiento horizontal en coronación de $H/150$, donde H es la altura del poste:

$$f = q_w \times H^4 / (8 \times E \times I)$$

Siendo:

- H : la altura de la pantalla.

$$H = 6,70 \text{ m}$$

- E : el módulo de elasticidad del acero, que es constante para cualquier acero estructural.

$$E = 210.000.000 \text{ kN/m}^2$$

- I : es el momento de inercia del perfil HEB-340 respecto a su eje Y-Y. este dato se ha obtenido del proyecto que a su vez está respaldado en las tablas de consulta de perfiles laminados. Los postes, cuanto mayor es su momento de inercia, más rígido es el perfil y menos se deforma ante el momento flector.

$$I = 36,656 \text{ cm}^4 = 3,6656 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

- q_w : presión del viento sobre el poste

$$q_w = 11,44 \text{ kN/m}$$

$$f = 11,44 \times 6,7^4 / (8 \times 21.000.000 \times 36,656 \times 10^{-8})$$

$$f = 3,74cm$$

Como la flecha calculada, es menor a 4,47cm, el perfil HEB-340 cumple con el Estado Límite de Deformación.

4.5. Comprobación de zapata

4.5.1. Capacidad portante del terreno

La capacidad portante admisible del terreno para la geometría de la zapata, base de contacto de 2 metros y profundidad de cimentación nula, calculada en el Anejo 4, es:

$$q_{adm} = 185,28kPa = 1,85kg/cm^2$$

4.5.2. Reparto de esfuerzos del poste a la zapata

Cada tramo de zapata, de 4,00 metros de longitud y 2,00 metros de ancho recibe la carga del poste correspondiente, más el peso propio del tramo de zapata:

$$N_d = 33,17kN$$

$$N_{zapata} = 2,00m \times 0,80m \times 25kN/m^3 \times 4,00m = 160kN$$

$$N_t = N_d + N_{zapata} = 184,56kN$$

Para la verificación de la zapata, se comprueba en los tres casos; poste extremo, poste siguiente al extremo y poste intermedio, la excentricidad:

$$e = M/N_t$$

Con el límite:

$$\frac{L}{6} = \frac{4,00}{6,00} = 0,667m$$

Cuando dicho número es superado, la zapata tiende a levantarse por un lado y se debe emplearse el método de área efectiva de Meyerhof, con una longitud de apoyo reducida:

$$L' = L - 2e$$

$$\sigma_{max} = N_t/(B \times L')$$

- Poste intermedio

$$M_d = 142,53kNm$$

$$e = \frac{M}{N_t} = \frac{142,53kNm}{184,56kN} = 0,772$$

$$e > 0,667m$$

$$L' = 4 - 2 \times 0,772 = 2,46m$$

$$\sigma_{max} = \frac{N_t}{B \times L'} = \frac{184,56kN}{2,00m \times 2,46m} = 37,51kPa$$

$$\sigma_{max} = 0,38kg/cm^4$$

- Poste extremo

$$M_d = 193,21kNm$$

$$e = \frac{M}{N_t} = \frac{193,21kNm}{184,56kN} = 1,05$$

$$e > 0,667m$$

$$L' = 4 - 2 \times 1,05 = 1,91m$$

$$\sigma_{max} = \frac{N_t}{B \times L'} = \frac{184,56kN}{2,00m \times 1,91m} = 48,31kPa$$

$$\sigma_{max} = 0,48kg/cm^4$$

- Poste siguiente al extremo

$$M_d = 314,56kNm$$

$$e = \frac{M}{N_t} = \frac{314,56kNm}{184,56kN} = 1,70$$

$$e > 0,667m$$

$$L' = 4 - 2 \times 1,70 = 0,59m$$

$$\sigma_{max} = \frac{N_t}{B \times L'} = \frac{184,56kN}{2,00m \times 0,59m} = 156,41kPa$$

$$\sigma_{max} = 1,56kg/cm^4$$

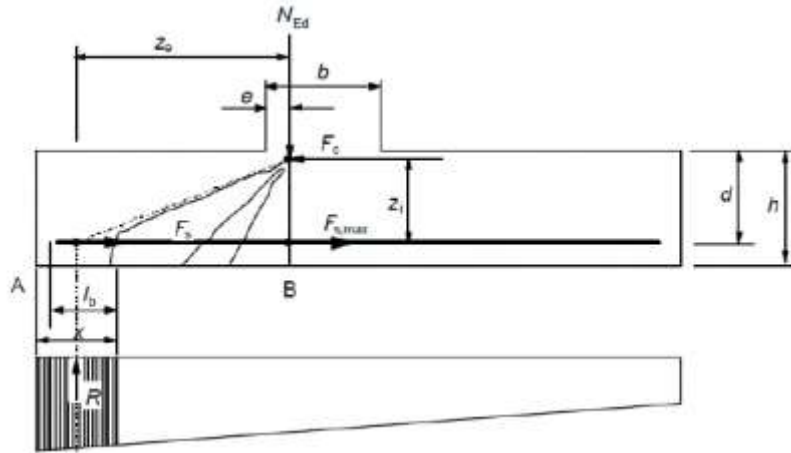
Finalmente, se puede afirmar que la zapata en su totalidad es válida y cumple con la capacidad

portante del terreno en los tres tipos de poste.

4.6. Dimensionamiento de armadura de zapata

4.6.1. Poste intermedio

Se realiza el dimensionamiento de la armadura de la zapata.



$$F_s = R \cdot z_e / z_i$$

R = resultante de la presión del terreno dentro de la distancia x

$$s_{max} = 37,76 \text{ kPa}$$

$$x_{max} = 2,588 \text{ m}$$

$$R = 1,50 \times 37,76 \times 2,588 = 146,58 \text{ kN/m}$$

$$z_{e,max} = 2,00 \text{ m}$$

$$z_i = 0,90 \times d = 0,9 \times 0,73 = 0,657 \text{ m}$$

$$F_s = 146,58 \times 2,00 / 0,657 = 446,21 \text{ kN/m}$$

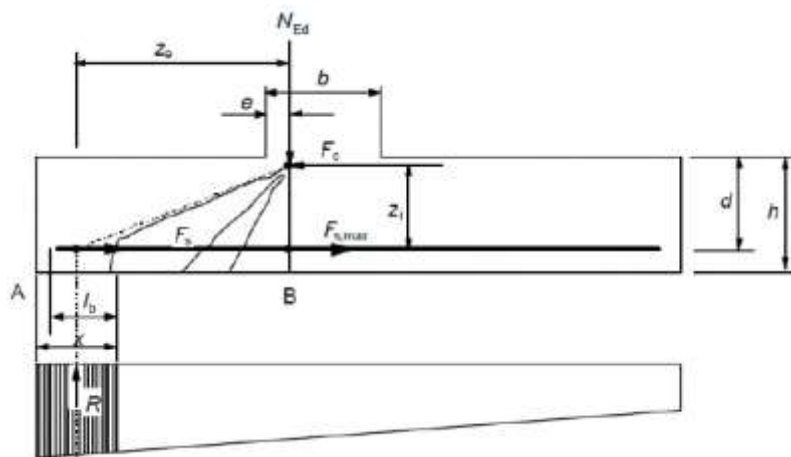
$$A_s = 446,21 / (500/1,15) \times 10 = 10,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = \max(0,26 \cdot f_{ctm}/f_{yk} \cdot b \cdot d ; 0,0013 \cdot b \cdot d) = 10,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

La armadura transversal inferior consiste en Ø16/0,15 m (13,40 cm²/m)

La armadura longitudinal inferior se arma de la misma manera para homogeneizar el reparto de tensiones en la zapata.

La armadura superior consistirá en una parrilla de Ø12/0,15×0,15, bajo el criterio de mantener la separación de cálculo de la parrilla inferior y emplear un diámetro mínimo para elementos de cimentación de Ø12.



$$F_s = R \cdot z_e / z_i$$

R = resultante de la presión del terreno dentro de la distancia x

$$s_{max} = 115,80 \text{ kPa}$$

$$x_{max} = 0,834 \text{ m}$$

$$R = 1,50 \times 115,80 \times 0,834 = 144,87 \text{ kN/m}$$

$$z_{e,max} = 2,00 \text{ m}$$

$$z_i = 0,90 \times d = 0,9 \times 0,73 = 0,657 \text{ m}$$

$$F_s = 144,87 \times 2,00 / 0,657 = 440,99 \text{ kN}$$

$$A_s = 440,99 / (500/1,15) \times 10 = 10,14 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = \max(0,26 \cdot f_{ctm} / f_{yk} \cdot b \cdot d ; 0,0013 \cdot b \cdot d) = 10,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

La armadura transversal inferior consiste en Ø16/0,15 m (13,40 cm²/m)

La armadura longitudinal inferior se arma de la misma manera para homogeneizar el reparto de tensiones en la zapata.

La armadura superior consistirá en una parrilla de Ø12/0,15×0,15, bajo el criterio de mantener la separación de cálculo de la parrilla inferior y emplear un diámetro mínimo para elementos de cimentación de Ø12.

4.7. Cálculo de la cuantía de acero en cada zapata

La cuantía de acero, por tanto, es la misma en todas las zapatas independientemente de la posición relativa del poste. Se calcula dicha cuantía a efectos de presupuesto:

ARMADURA TRANSVERSAL INFERIOR

$$N^{\circ} \text{ armaduras} = 2,00 / 0,15 = 13 \text{ barras}$$

$$\text{Patillas} = 2 \times 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 2 \times 0,50 + 4,00 - 2 \times 0,075 = 4,85 \text{ m}$$

$$\text{Peso lineal } \varnothing 16 = 1,64 \text{ kg/m}$$

$$Peso1 = 13 \times 4,85 \times 1,64 = 103,40 \text{ kg}$$

ARMADURA LONGITUDINAL INFERIOR

$$N^{\circ} \text{ armaduras} = 4,00 / 0,15 = 26 \text{ barras}$$

$$\text{Patillas} = 2 \times 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 2 \times 0,50 + 2,00 - 2 \times 0,075 = 2,85 \text{ m}$$

$$\text{Peso lineal } \varnothing 16 = 1,64 \text{ kg/m}$$

$$Peso2 = 26 \times 2,85 \times 1,64 = 121,52 \text{ kg}$$

ARMADURA TRANSVERSAL SUPERIOR

$$N^{\circ} \text{ armaduras} = 2,00 / 0,15 = 13 \text{ barras}$$

$$\text{Patillas} = 2 \times 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 2 \times 0,50 + 4,00 - 2 \times 0,075 = 4,85 \text{ m}$$

$$\text{Peso lineal } \varnothing 12 = 0,92 \text{ kg/m}$$

$$Peso3 = 13 \times 4,85 \times 0,92 = 58,01 \text{ kg}$$

ARMADURA LONGITUDINAL SUPERIOR

$$N^{\circ} \text{ armaduras} = 4,00 / 0,15 = 26 \text{ barras}$$

$$\text{Patillas} = 2 \times 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 2 \times 0,50 + 2,00 - 2 \times 0,075 = 2,85 \text{ m}$$

$$\text{Peso lineal } \varnothing 12 = 0,92 \text{ kg/m}$$

$$Peso4 = 26 \times 2,85 \times 0,92 = 68,17 \text{ kg}$$

ARMADURA TOTAL

$$\text{Total peso acero} = 103,40 + 121,52 + 58,01 + 68,17 = 351,10 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen zapata} = 2,00 \times 4,00 \times 0,80 = 6,40 \text{ m}^3$$

$$\text{Cuantía acero} = 351,10 / 6,40 = 54,86 \text{ kg/m}^3$$

5. Esfuerzos en la base del poste. Alternativa 2

5.1. Planteamiento y datos

La alternativa 2, colocación de minibarreras es un producto autoportante, con su propia plataforma de apoyo. Esto indica que no es necesario es calculo ni dimensionamiento de cimentación, al no ser un elemento diseñado, ya que viene verificado por el fabricante asi como la comprobación de estabilidad por vuelco o deslizamiento. Acustrain, en este caso, el fabricante, indica que la estabilidad del producto frente a viento se resuelve por el peso propio de la plataforma prefabricada. No obstante, es importante tener en cuenta, que no se dispone de una ficha técnica del producto y, por lo tanto, este cálculo es una estimación que deberá ser verificada si la alternativa es finalmente la solución adoptada.

5.2. Capacidad portante del terreno

La capacidad portante del terreno para la geometría de la plataforma de la minibarrera (B=0,85m, D=0,00m) teniendo en cuenta que se apoya directamente sobre el balasto sin empotramiento, se ha calculado en el Anejo 4, con las hipótesis de terreno terraplén plataforma antigua granular y capa superficial blanda:

Hipótesis	Justificación	q_{adm}
Terreno de terraplén plataforma antigua granular (RAG).	Parámetros generales del anejo 3 de proyecto	1,01kg/cm ²
Capa superficial blanda (PN2-34/PN2-35).	Resultados de la calicata PN2-35, perforada junto a la vía 2.	0,28kg/cm ²

5.3. Presión transmitida de contacto

Considerando que la estructura es únicamente de hormigón, su peso propio será:

$$\gamma = 25kN/m^3$$

La sección transversal de la estructura:

$$A = 0,673m^2$$

Peso por metro lineal:

$$P = A \times \gamma = 0,673m^2 \times 25kN/m^3$$

$$P = 16,81kN/m$$

Presión transmitida de contacto

$$\sigma = \frac{P}{Base} = \frac{16,81kN/m}{0,85m \times 1m} = 19,77kPa$$

$$\sigma = 0,198kg/cm^3$$

La presión de contacto estimada de la minibarrera es inferior a la capacidad portante del terreno en ambas hipótesis, aunque esta conclusión queda condicionada por la confirmación de materiales del producto.