

ANEJO 5.- *CÁLCULO ESTRUCTURAL DE PANTALLAS ACÚSTICAS*

Índice

1.	Objetivo.....	4
2.	Bases de cálculo.....	5
2.1.	Normativa de referencia.....	5
2.2.	Parámetros geotécnicos.....	5
2.3.	Materiales.....	6
2.3.1	Hormigones.....	6
2.3.2	Acero pasivo.....	6
2.4.	Acciones.....	7
2.4.1	Acciones permanentes de valor constante (G).....	7
2.4.2	Acciones permanentes de valor no constante (G*).....	7
2.4.3	Acciones variables (Q).....	7
2.4.3.1	Sobrecargas de uso.....	7
2.4.3.2	Sobrecargas climáticas.....	7
2.4.4	Acciones sísmicas (S).....	8
2.5.	Combinación de acciones.....	8
2.5.1	Coeficientes parciales de seguridad.....	8
2.6.	Coeficiente de simultaneidad.....	9
2.7.	Combinaciones.....	9
3.	Cálculo pantalla acústica de proyecto.....	11
3.1.	Datos.....	11
3.2.	Presión sobre superficie vertical.....	11
3.3.	Viento.....	15
3.4.	Presión de velocidad.....	17
3.5.	Despiece.....	20
4.	Cálculo pantalla acústica alternativa 1.....	22
4.1.	Datos.....	22
4.2.	Presión sobre superficie vertical.....	22
4.3.	Viento.....	26
4.4.	Presión de velocidad.....	28
4.5.	Despiece.....	31
5.	Cálculo pantalla acústica alternativa 3.....	33
5.1.	Datos.....	33

5.2.	Presión sobre superficie vertical	33
5.3.	Viento	37
5.4.	Presión de velocidad.....	39
5.5.	Despiece	43

1. Objetivo

El presente anejo recoge los cálculos de manera justificada la estructura de las pantallas, tanto para la solución de proyecto como para la alternativa 1 y alternativa 3. Todo ello, con el objetivo de elegir la solución óptima para el tramo de estudio situado en el municipio de Carcaixent (Valencia), en el nuevo acceso ferroviario de Alta Velocidad de Levante.

Por su parte, la alternativa 2, colocación de minibarrera, no se incluye al tratarse de un producto comercial autoportante, sin cimentación, que no requiere la definición de una tipología específica de postes ni un despiece de paneles convencional. Su verificación de cargas transmitidas al terreno, plataforma de apoyo se desarrollan en el Anejo 6.

A continuación, se establecen las bases de cálculo empleados, detallando la normativa de referencia, los parámetros de partida y los criterios de acciones adoptado. Sobre esta base, se determina la tipología de los paneles acústicos que conforman la pantalla acústica para cada una de las soluciones, verificando su capacidad resistente frente a las cargas aerodinámicas y las acciones del viento producidas por el paso de los trenes de alta velocidad conforme a la normativa aplicable. Se establecen las bases de cálculo empleados, detallando la normativa de referencia, los parámetros de partida y los criterios de acciones adoptado. Sobre esta base,

2. Bases de cálculo

Se indican seguidamente las bases de cálculo empleadas en el presente documento, las que se aplican sobre los anejos 6 y 7.

2.1. Normativa de referencia

Para la realización del presente estudio se ha empleado la siguiente normativa vigente de aplicación.

Bases de cálculo

- UNE-EN 1990. “Eurocódigo 0: Bases de Cálculo de Estructuras”.

Acciones en estructuras

- UNE-EN 1991. “Eurocódigo 1: Acciones en estructuras”.
- UNE-EN 16727-2-2. “Aplicaciones ferroviarias. Vía. Barreras acústicas y dispositivos relacionados que actúan sobre la propagación aérea del sonido.” Parte 2-2: “Prestaciones mecánicas bajo cargas dinámicas producidas por el paso de trenes. Método de cálculo”.
- IAPF. “Instrucción de acciones a considerar en puentes de ferrocarril”

Materiales y construcción

- UNE-EN 1992. “Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón”.
- UNE-EN 1993. “Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero”.
- UNE-EN 1997. “Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico”.
- Anexos nacionales de los correspondientes Eurocódigos.
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera. 2009. Dirección General de Carreteras.
- Código Estructural. RD 470/2021, de 29 de junio.
- Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera. 2005. Dirección General de Carreteras.

2.2. Parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos adoptados en el cálculo son los que se indican en el Anejo 3 del presente documento.

En concreto, los parámetros principales empleados en el cálculo son:

Tabla 1. Parámetros principales de proyecto

Hipótesis	γ' (Kn/m ³)	ϕ (°)	c' (kPa)
Terreno de terraplén plataforma antigua granular (RAG)	18	33	3

2.3. Materiales

2.3.1 Hormigones

Para la cimentación de las pantallas acústicas se considera un hormigón con las siguientes características, considerándose su principal condicionante de diseño el ambiente existente:

- Denominación:	HA-30/B/20/XC2
- Resistencia característica a compresión simple f_{ck} :	30 MPa
- Resistencia media a compresión simple f_{cm} :	38 MPa
- Módulo de deformación inicial E_c :	34478 MPa
- Módulo de deformación secante E_{cm} :	31832 MPa
- Coeficiente de Poisson ν :	0,20
- Coeficiente de dilatación térmica α :	$10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Coef. parcial de seguridad (sit. persistentes o transitorias)	$\gamma_c = 1,50$
- Coef. parcial de seguridad (sit. accidentales)	$\gamma_c = 1,30$
- Nivel de control del hormigón:	Estadístico
- Nivel de control de la ejecución:	Normal
- Hormigón de limpieza:	HL-150/P/30

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN FRENTE A LA DURABILIDAD

- Vida útil de la estructura:	50 años
- Clase de exposición:	XC4
- Clase estructural:	S4
- Máxima relación A/C:	0,55
- Mínimo contenido en cemento (kg/cm^3):	300
- Tipo de cemento:	II
- Recubrimiento mínimo (mm):	25
- Nivel de control de la ejecución:	Normal
- Incremento del recubrimiento mínimo (mm):	10
- Recubrimiento nominal (mm):	35
- Abertura máxima de fisura (mm):	0,30

2.3.2 Acero pasivo

- Denominación:	B 500 SD
- Nivel de control:	Normal
- Límite elástico característico f_{yk} :	500 MPa
- Módulo de elasticidad E_s :	$2 \times 10^5 \text{ MPa}$
- Coef. parcial de seguridad (sit. persistentes o transitorias)	$\gamma_s = 1,15$
- Coef. parcial de seguridad (sit. accidentales)	$\gamma_s = 1,00$

2.4. Acciones

2.4.1 Acciones permanentes de valor constante (G)

Las cargas permanentes están constituidas por los pesos de los distintos elementos que forman parte de la estructura. Corresponden a acciones que actúan en todo momento y son constantes en posición y magnitud. Comprenden el peso propio y las cargas muertas. Sus valores se deducen de las dimensiones de los elementos especificadas en los planos y de sus pesos específicos correspondientes.

- Peso propio del hormigón $\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$
- Peso propio de perfiles metálicos:
 - o HEB340 1,34 kN/m
 - o HEB450 1,71 kN/m

2.4.2 Acciones permanentes de valor no constante (G*)

Consisten en las acciones que están actuando en todo momento sobre la estructura, pero con una magnitud que no es constante en el tiempo. En este grupo se consideran las acciones reológicas y las debidas al terreno.

En el presente caso de diseño se consideran despreciables frente a las acciones debidas a peso propio y a las acciones variables actuantes. Por ejemplo, en el caso de las acciones reológicas se consideran insignificantes debido a las reducidas dimensiones de los elementos de hormigón.

Respecto a los asientos admisibles y a efectos de simplificación, se considera que la condición de asiento inferior a 25,4 mm se cumple al verificarse que las tensiones aplicadas son inferiores a las admisibles.

2.4.3 Acciones variables (Q)

2.4.3.1 Sobrecargas de uso

Se consideran los efectos aerodinámicos que se producen sobre las pantallas por el paso de los vehículos ferroviarios. Su magnitud se calcula en los correspondientes apartados para cada pantalla.

2.4.3.2 Sobrecargas climáticas

Se considera la acción del viento sobre las pantallas como la principal sobrecarga que condiciona el diseño de las cimentaciones. Se emplea la metodología de cálculo incluida en UNE-EN 1991-1-4:2018, Acciones en Estructuras. Acciones generales. Acciones de viento.

C_{dir}	1		Factor direccional
C_{season}	1		Factor estacional
C_{prob} (100 años)	1,04		Factor probabilidad
$V_{b,0}$	28	m/s	Valor fundamental de la velocidad básica del viento
V_b (100 años)	29,12	m/s	

En los correspondientes apartados del anejo se realiza el cálculo de las presiones de viento teniendo en cuenta, además, la posición relativa de aplicación de la presión de viento:

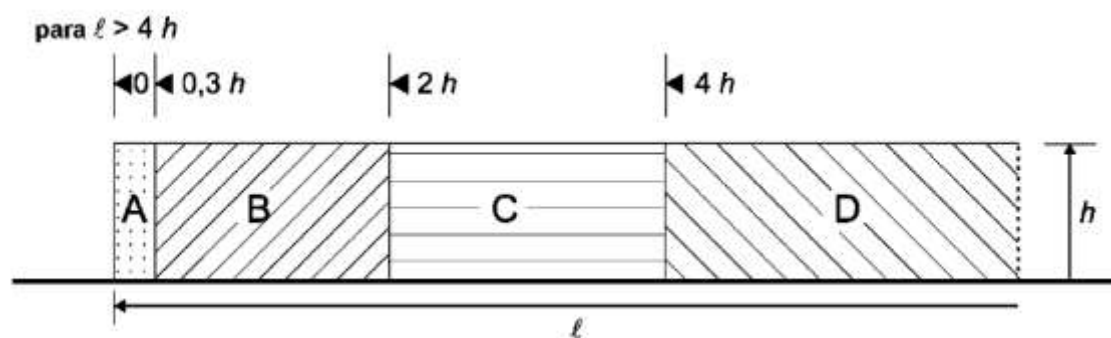


Figura 1. Distribución de zonas de zonas de presión.

2.4.4 Acciones sísmicas (S)

En base a las características de la estructura estudiada, se considera que la situación sísmica de cálculo es menos desfavorable que las acciones variables definidas anteriormente, por lo que no se tiene en cuenta esta acción en el cálculo de las cimentaciones.

2.5. Combinación de acciones

2.5.1 Coeficientes parciales de seguridad

Los coeficientes parciales de seguridad que se emplean en las diferentes combinaciones de carga son los siguientes:

Tabla 2. Valores de los coeficientes parciales de seguridad ELU

CUADRO 4.1. VALORES DE LOS COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD γ_F PARA LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS.

TIPO DE ACCIÓN		SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA		SITUACIÓN ACCIDENTAL	
		EFFECTO FAVORABLE	EFFECTO DESFAVORABLE	EFFECTO FAVORABLE	EFFECTO DESFAVORABLE
Permanente de valor constante ^{(1) (2)}		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	Pretensado $P_1^{(3)}$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Pretensado $P_2^{(4)}$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,35$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Otra presolicitación ⁽³⁾	$\gamma_G^* = 0,95$	$\gamma_G^* = 1,05$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Reológica	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,35$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
	Acción o asiento del terreno	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,50$	$\gamma_G^* = 1,00$	$\gamma_G^* = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental		—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Tabla 3. Valores de los coeficientes parciales de seguridad ELS

CUADRO 4.2. VALORES DE LOS COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD γ_F PARA ESTADOS LÍMITES DE SERVICIO.

TIPO DE ACCIÓN		SITUACIÓN PERSISTENTE O TRANSITORIA	
		EFFECTO FAVORABLE	EFFECTO DESFAVORABLE
Permanente de valor constante		$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	Pretensado P_1 Armaduras postesas	$\gamma_{G^*} = 0,90$	$\gamma_{G^*} = 1,10$
	Pretensado P_1 Armaduras pretesas	$\gamma_{G^*} = 0,95$	$\gamma_{G^*} = 1,05$
	Pretensado P_2	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Otra presolicitación	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Reológica	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
	Acción o asiento del terreno	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable		$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

2.6. Coeficiente de simultaneidad

Tabla 4. Coeficientes de simultaneidad

ACCIONES	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Cargas de tráfico	0,8	⁽¹⁾	0
Resto de acciones variables	0,6	0,5	0,2

⁽¹⁾ Adopta los siguientes valores:
0,80 con una vía cargada.
0,60 con dos vías cargadas simultáneamente.
0,40 con tres o más vías cargadas simultáneamente.

2.7. Combinaciones

Para la verificación de los Estados Límite Últimos (STR según apartado 6.4.3.2 de la UNE-EN 1990):

Situación Persistente o Transitoria:

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

donde:

- $G_{k,i}^*$: Valor representativo de cada acción permanente de valor constante.
- $G_{k,i}^{\#}$: Valor representativo de cada acción permanente de valor no constante.
- $Q_{k,1}$: Valor característico de la acción variable dominante.
- $\Psi_{0,i} Q_{k,i}$: Valores de combinación de las acciones variables concomitantes con la acción variable dominante.

En la verificación de estos estados se comprueban únicamente las situaciones persistentes o transitorias, excluyéndose las accidentales con y sin sismo.

Para la comprobación de los **Estados Límite de Servicio:**

- Combinación característica (poco probable o rara):

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

- Combinación frecuente:

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

- Combinación cuasipermanente:

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

3. Cálculo pantalla acústica de proyecto

3.1. Datos

- Velocidad del tren:

$$v = 259 \text{ km/h} = 69,44 \text{ m/s}$$

- Distancia al eje de la vía:

$$a_g = 5,3 \text{ m}$$

- Altura sobre carril: 6,00 m
- Altura de la pantalla: 7,00 m
- Separación entre postes: 4,00 m

3.2. Presión sobre superficie vertical

La presión aerodinámica sobre la superficie vertical en la pantalla se obtiene aplicando la siguiente fórmula establecida en la norma UNE-EN 16727-2-2. Esta expresión permite obtener la presión de diseño final que debe resistir cada elemento de la pantalla (poste o panel)

$$q_{DS} = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

- q_{DS} : Presión sobre superficie vertical
- φ_L : Factor de longitud. Corrige el valor de la presión en función de la longitud de influencia del elemento que se está calculando, postes o paneles.
- φ_H : Factor de altura, en función de la altura sobre carril.
- φ_{dyn} : Factor dinámico. Corrige el valor según las vibraciones del elemento, teniendo los efectos de resonancia o amplificación dinámica.
- q_{1K} : Presión aerodinámica base producida por el paso de los trenes. Se calcula en función de la distancia al eje de la vía (a_g) y de si el tren es aerodinámico o no (k_1).

Presión aerodinámica base (q_{1K})

$$q_{1K} = K_1 \times q_{1K,0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- $K_1 = 0,60$. Valor cuando el material rodante es aerodinámico.
- $q_{1K,0}$: se obtiene de la gráfica de la figura 1, en función de los 5,30 metros de distancia al eje de la vía y teniendo en cuenta la velocidad del tren

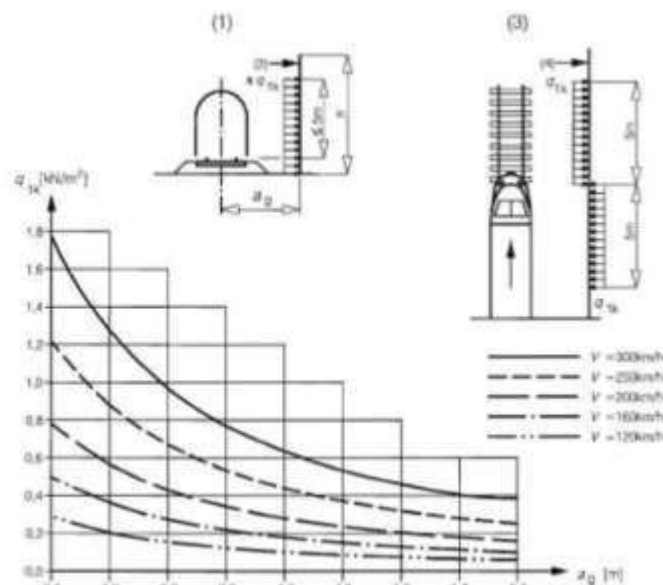


Figura 2. Presión característica básica. Fuente: documentación del proyecto.

$$q_{1K,0} = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{K1} = 0,6 \times 0,31 = 0,186 \text{ kN/m}^2$$

Factor de longitud (ϕ_L)

El factor de longitud se calcula en función de la altura sobre carril y la longitud de influencia, con la tabla 5. Como en este caso la altura sobre carril es mayor que 5, se ha realizado una interpolación de la tabla, para lograr valores del factor de longitud para pantallas con mayor altura de carril, tabla 6.

Tabla 5. Factor de longitud. Fuente: proyecto base.

Longitud de influencia (m)	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)				
	1	2	3	4	5
L					
0,0	0,97	1,12	1,27	1,42	1,56
2,5	0,95	1,10	1,25	1,40	1,54
5,0	0,92	1,06	1,20	1,35	1,49
7,5	1,02	1,18	1,33	1,49	1,65
10,0	1,21	1,40	1,59	1,78	1,97
12,5	1,44	1,66	1,88	2,11	2,33
15,0	1,69	1,95	2,21	2,47	2,73

Tabla 6. Interpolación lineal de la Tabla 1. Fuente: elaboración propia.

FACTOR DE LONGITUD SEGÚN ANEJO								
Longitud de influencia (m)	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)							
L	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,97	1,12	1,27	1,42	1,56	1,71	1,86	2,01
2,5	0,95	1,1	1,25	1,4	1,54	1,69	1,84	1,99
5,0	0,92	1,06	1,2	1,35	1,49	1,64	1,79	1,94
7,5	1,02	1,18	1,33	1,49	1,65	1,8	1,95	2,1
10,0	1,21	1,4	1,59	1,78	1,97	2,16	2,35	2,54
12,5	1,44	1,66	1,88	2,11	2,33	2,55	2,77	2,99
15,0	1,69	1,95	2,21	2,47	2,73	2,99	3,25	3,51

Realizando una interpolación, con la siguiente fórmula, se consigue el factor de longitud de los postes y paneles.

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times (x - x_1)$$

- Postes

$$h = 6m$$

La longitud de influencia de los postes son la suma de dos vanos, lo cual es lógico ya que el mismo poste sujeta un vano a cada lado.

$$L = 8m$$

$$\varphi_L = 1,877$$

- Paneles

$$h = 6m$$

$$L = 4m$$

$$\varphi_L = 1,662$$

Factor de altura (φ_H)

$$\varphi_H = 1 - (1 - \varphi_{H1}) \times \left(\frac{z}{h}\right)^2$$

Tabla 7. Faltor de altura. Fuente: proyecto.

	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)				
z/h	1	2	3	4	5
1,0	0,69	0,65	0,60	0,55	0,51
0,9	0,75	0,71	0,68	0,64	0,60
0,8	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68
0,7	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76
0,6	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82
0,5	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
0,4	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
0,3	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96
0,2	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98
0,1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

- En la base ($z=0$)

$$\frac{z}{h} = \frac{0,00}{6,00} = 0$$

Por lo tanto, el factor de altura en este caso será:

$$\varphi_H = 1,00$$

- En coronación ($z=6$)

$$\frac{z}{h} = \frac{6,00}{6,00} = 1,00$$

Mediante interpolación, se obtiene que:

$$\varphi_H = 0,47$$

Factor dinámico (φ_{dyn})

De manera genérica, los proyectos de pantallas acústicas ferroviarias en España adoptan un valor del factor dinámico de 3,25.

$$\varphi_{dyn} = 3,25$$

Presión sobre la superficie vertical

- Postes centrales

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,877 \times 1 \times 3,25 \times 0,18$$

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

$$q_{DS}(z = 6) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 6) = 1,877 \times 0,47 \times 3,25 \times 0,18$$

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

- Postes de extremo, reciben una presión doble

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

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

$$q_{DS}(z = 6) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

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

- Paneles

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,662 \times 1 \times 3,25 \times 0,18$$

$$q_{DS}(z = 0) = 0,99kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 6) = 1,662 \times 0,47 \times 3,25 \times 0,18$$

$$q_{DS}(z = 6) = 0,46kN/m^2$$

- Paneles de extremo, reciben una presión doble

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,97kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 6) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 6) = 0,93kN/m^2$$

3.3. Viento

$$v_b = C_{prob} \times C_{dir} \times C_{sea} \times v_{b,0}$$

- v_b : velocidad básica de diseño (m/s)
- C_{prob} : Coeficiente de probabilidad. Ajusta la velocidad para un periodo de retorno de 100 años, habitual en obra civil, frente al periodo de retorno de 50 años que representa el mapa IAPF.

$$C_{prob} = 1,04$$

- C_{dir} : Coeficiente de dirección del viento. Se escoge el valor más desfavorable, 1, para quedarnos del lado de la seguridad.
- C_{sea} : Coeficiente de cercanía al mar. Se escoge el valor más desfavorable, 1, para quedarnos del lado de la seguridad.
- $v_{b,0}$: velocidad básica fundamental. Se obtiene del mapa de isostáticas de España en función de la zona de emplazamiento. En este caso, Carcaixent (Valencia).



Figura 3. Mapa de isostáticas de España (IAPF). Fuente: EC 1-4.

$$v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

$$v_b = 1,04 \times 1,00 \times 1,00 \times 28 = 29,12 \text{ m/s}$$

El objetivo del apartado es calcular la velocidad media v_m

$$v_m = v_b \times C_r(z) \times C_o(z)$$

- v_m : velocidad media
- v_b : velocidad básica de diseño (m/s)
- $C_r(z)$: factor de rugosidad del terreno. Se obtiene de la tabla 3, en función del terreno. En este caso, nos encontramos en Carcaixent, con un terreno de categoría II.
- $C_o(z)$: factor de orografía. En este caso, Carcaixent presenta un terreno llano por lo general, y según el eurocodigo EC 1-4 si el terreno es llano o con pendiente menos de 3°:

$$C_o(z) = 1$$

Factor de rugosidad del terreno ($C_r(z)$)

$$C_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$k_r = 0,19 \times \ln\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right) = 0,19 \times \ln\left(\frac{0,05}{0,05}\right)$$

$$k_r = 0,19$$

Tabla 7. Categorías de terrenos y parámetros del terreno. Fuente: EC 1-4.

Categoría de terreno		z_0 m	z_{min} m
0	Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto	0,003	1
I	Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos	0,01	1
II	Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos	0,05	2
III	Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes)	0,3	5
IV	Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m	1,0	10
NOTA – Las categorías de terrenos se ilustran en el capítulo A.1.			

Categoría II

$$z_0 = 0,05m$$

$$z_{min} = 2,00m$$

$$z = 7,00m \text{ (altura de la pantalla)}$$

$$C_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{7,00}{0,05}\right) = 0,94$$

Con todo esto, la velocidad media es:

$$v_m = 29,12 \times 0,94 \times 1$$

$$v_m = 27,37 \text{ m/s}$$

3.4. Presión de velocidad

Una obtenida la velocidad media, v_m , el cálculo de la presión se desarrolla de la siguiente manera:

Presión de velocidad media (q_b): se obtiene a partir de la energía cinética del flujo de aire a la velocidad media, v_m .

$$q_b = 0,5 \times \rho \times (v_m)^2$$

- ρ : densidad del aire $1,25 \text{ kg/m}^3$
- v_m : velocidad media

$$q_b = 0,5 \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times \left(27,37 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$q_b = 467,21 \text{ N/m}^2$$

Factor de exposición ($c_e(z)$). La presión de velocidad media no engloba el efecto de las turbulencias del viento, por ello el EC1-4 introduce el valor de factor de exposición.

$$c_e(z) = 1 + 7 \times I_v(z)$$

- $I_v(z)$: representa el valor de intensidad de turbulencias que depende a su vez de la rugosidad del terreno y de la altura de evaluación.

$$I_v(z) = k_1 / (c_o(z) \times \ln(\frac{z}{z_0}))$$

Siendo:

- $k_1 = 1$
- $(c_o(z) = 1$
- $z = 7,00m$
- $z_0 = 0,05$

$$I_v(z) = 0,2024$$

$$c_e(z) = 1 + 7 \times 0,2024$$

$$c_e(z) = 2,41$$

Presión de velocidad pico (q_p), es la presión de diseño de referencia para el cálculo de la acción del viento sobre la pantalla. Representa la presión máxima que puede alcanzar el viento sobre la superficie de la pantalla.

$$q_p = c_e(z) \times q_b \left(\frac{N}{m} \right)$$

$$q_p = 2,41 \times 467,21 \frac{N}{m^2}$$

$$q_p = 1129,03 \frac{N}{m^2}$$

Características de la pantalla

$$H=7,00 \text{ metros}$$

$$L \text{ (Longitud)} = 15c \text{ metros}$$

La pantalla acústica se divide en 4 zonas en función de la resistencia necesaria, ya que la presión de velocidad será mayor en el extremo de la pantalla que los vanos intermedios.

La normativa obliga a que el extremo tenga un mínimo de 5 metros, por ello y quedándonos del lado de la seguridad, para el cálculo de la tipología de los paneles, el extremo de la pantalla será directamente toda el área que abarca la zona B y el resto se considera zona intermedia.

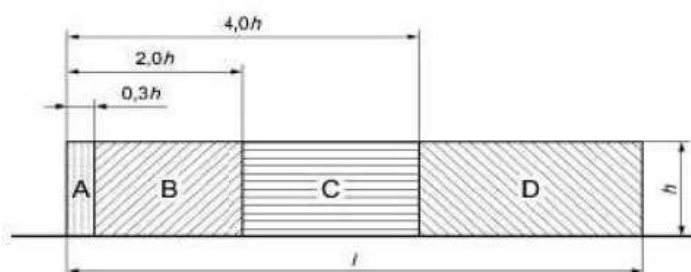


Figura 4. Distribución de zonas de zonas de presión. Fuente: proyecto.

Longitud de cada zona

- Zona A: 2,10 metros

- Zona B: 11,90 metros
- Zona C: 28,00 metros
- Zona D: 128,00 metros

Coeficiente de fuerza

Según la norma UNE-EN 1794-1 es, para cada zona de la pantalla:

- $C_{fa} = 3,4$
- $C_{fb} = 2,8$
- $C_{fc} = 1,7$
- $C_{fd} = 1,2$

Presión final

Es la presión que debe aguantar la pantalla de protección acústica

$$Pressure = q_p \times C_f$$

Zona B

$$Pressure (B) = 1129,03 \frac{N}{m^2} \times 2,8$$

$$Pressure (B) = 3,16 \text{ kN/m}^2$$

Zona D

$$Pressure (D) = 1129,03 \frac{N}{m^2} \times 1,2$$

$$Pressure (D) = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

Tabla 8. Resumen de presiones de la solución de proyecto. Fuente: elaboración propia.

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Unidades
Presión	3,84	3,16	1,92	1,35	kN/m^2
Longitud	2,10	11,90	28,00	100,00	Metros

Carga viento		Carga aerodinámica		Combinación 0,6V+A			Carga resultante mayor		
B (KN/m^2)	D (KN/m^2)	CENTRAL (Z=0)	EXTREMO (Z=0)	Carga extremo	carga resto B	Carga D	Carga extremo	Carga resto B	Carga D
3.160	1.350	0.990	1.980	3.876	2.886	1.8	3.876	3.160	1.800

La selección de la tipología del panel para cada zona de la pantalla se realiza comparando la presión de diseño q_{DS} obtenida en cada zona con la resistencia de cada tipología, eligiendo el panel de menor resistencia que supere la presión de diseño calculada.

TIPOLOGÍA PANEL			TIPOLOGÍA PANEL		
Panel	Viento diseño (kN/m ²)	Fatiga (kN/m ²)	Panel	Viento diseño (kN/m ²)	Fatiga (kN/m ²)
IT1.1R	2,5	1,25	15/M/4x1	2,44	2,50
IT1.2R	3,0	1,80	20/M/4x1	4,11	2,50
IT5R	5,0	2,80	20/M/4x1+Tubo	5,35	2,50

Figura 5. Tipologías de panel metálico y de metacrilato. Fuente: proveedores Acusttel.

Tabla 9. Solución de la distribución de proyecto. Fuente: elaboración propia.

	Carga diseño extremo	Carga diseño B	Carga central
PROYECTO			
Carga proyecto	3.876	3.160	1.800
longitudes	8	20	Resto
Tipología panel	IT5R	IT5R	IT1.1R

	Carga diseño extremo	Carga diseño B	Carga central
PROYECTO			
Carga proyecto	3.876	3.160	1.800
longitudes	8	20	Resto
Tipología panel	20/M/4x1	20/M/4x1	15/M/4x1

3.5. Despiece

PANTALLA R358-R376 - PANEL MET 3,0m + PMMA 2m

Perfiles	Vanos	L vano	PK	TIPO PANEL	h ZOCALO	h pantalla met	h panel	unidades panel	L zócalo (mm)	L panel (mm)	PMMA h(m)/ud	PMMA	TIPO PERFIL
1	-	-	-	-		-	-	-		-	-	-	HEB 340
2	1	4	4	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x1	HEB 340
3	2	4	8	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x1	HEB 340
4	3	4	12	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x1	HEB 340
5	4	4	16	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x1	HEB 340
6	5	4	20	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x1	HEB 340
7	6	4	24	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x1	HEB 340
8	7	4	28	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x1	HEB 340
9	8	4	32	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
10	9	4	36	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
11	10	4	40	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
12	11	4	44	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
13	12	4	48	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
14	13	4	52	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
15	14	4	56	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
16	15	4	60	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
17	16	4	64	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
18	17	4	68	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
19	18	4	72	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
20	19	4	76	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
21	20	4	80	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
22	21	4	84	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
23	22	4	88	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
24	23	4	G2	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
25	24	4	G6	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
26	25	4	100	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
27	26	4	104	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
28	27	4	108	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
30	59	4	112	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
31	30	4	116	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
32	31	4	120	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
33	32	4	124	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
34	33	4	128	IT1.1R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	15/M/4x1	HEB 340
35	34	4	132	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x40	HEB 340
36	35	4	136	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x40	HEB 340
37	36	4	140	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x40	HEB 340
38	37	4	144	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x40	HEB 340
39	38	4	148	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x40	HEB 340
40	39	4	152	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x40	HEB 340
41	40	4	156	IT5R		4.00	0.5	8.00	3930	3950	3	20/M/4x40	HEB 340

4. Cálculo pantalla acústica alternativa 1

4.1. Datos

- Velocidad del tren:

$$v = 259 \text{ km/h} = 69,44 \text{ m/s}$$

- Distancia al eje de la vía:

$$a_g = 5,3 \text{ m}$$

- Altura sobre carril: 4,00 m
- Altura de la pantalla: 5,00 m
- Separación entre postes: 4,00 m

4.2. Presión sobre superficie vertical

$$q_{DS} = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

- q_{DS} : Presión sobre superficie vertical
- φ_L : Factor de longitud. Corrige el valor de la presión en función de la longitud de influencia del elemento que se está calculando, postes o paneles.
- φ_H : Factor de altura, en función de la altura sobre carril.
- φ_{dyn} : Factor dinámico. Corrige el valor según las vibraciones del elemento, teniendo los efectos de resonancia o amplificación dinámica.
- q_{1K} : Presión aerodinámica base producida por el paso de los trenes. Se calcula en función de la distancia al eje de la vía (a_g) y de si el tren es aerodinámico o no (k_1).

Presión aerodinámica base (q_{1K})

$$q_{1K} = K_1 \times q_{1K,0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- $K_1 = 0,60$. Valor cuando el material rodante es aerodinámico.
- $q_{1K,0}$: se obtiene de la gráfica de la figura 1, en función de los 5,30 metros de distancia al eje de la vía y teniendo en cuenta la velocidad del tren

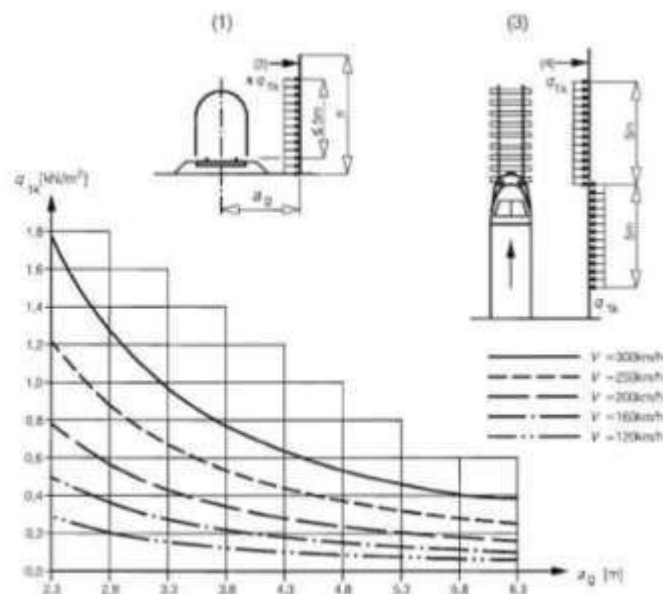


Figura 6. Presión característica básica. Fuente: documentación del proyecto.

$$q_{1K,0} = 0,31 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{K1} = 0,6 \times 0,31 = 0,186 \text{ kN/m}^2$$

Factor de longitud (ϕ_L)

El factor de longitud se calcula en función de la altura sobre carril y la longitud de influencia, con la Tabla 1. Como en este caso la altura sobre carril es mayor que 5, se ha realizado una interpolación de la tabla, para lograr valores del factor de longitud para pantallas con mayor altura de carril, tabla 2.

Tabla 10. Factor de longitud. Fuente: proyecto.

Longitud de influencia (m)	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)				
	1	2	3	4	5
0,0	0,97	1,12	1,27	1,42	1,56
2,5	0,95	1,10	1,25	1,40	1,54
5,0	0,92	1,06	1,20	1,35	1,49
7,5	1,02	1,18	1,33	1,49	1,65
10,0	1,21	1,40	1,59	1,78	1,97
12,5	1,44	1,66	1,88	2,11	2,33
15,0	1,69	1,95	2,21	2,47	2,73

Tabla 11. Interpolación lineal de la Tabla 1. Fuente: elaboración propia.

Longitud de influencia (m)	FACTOR DE LONGITUD SEGÚN ANEJO							
	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)							
L	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,97	1,12	1,27	1,42	1,56	1,71	1,86	2,01
2,5	0,95	1,1	1,25	1,4	1,54	1,69	1,84	1,99
5,0	0,92	1,06	1,2	1,35	1,49	1,64	1,79	1,94
7,5	1,02	1,18	1,33	1,49	1,65	1,8	1,95	2,1
10,0	1,21	1,4	1,59	1,78	1,97	2,16	2,35	2,54
12,5	1,44	1,66	1,88	2,11	2,33	2,55	2,77	2,99
15,0	1,69	1,95	2,21	2,47	2,73	2,99	3,25	3,51

Realizando una interpolación, con la siguiente fórmula, se consigue el factor de longitud de los postes y paneles.

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times (x - x_1)$$

- Postes

$$h = 4m$$

La longitud de influencia de los postes son la suma de dos vanos, lo cual es lógico ya que el mismo poste sujeta un vano a cada lado.

$$L = 8m$$

$$\varphi_L = 1,5496$$

- Paneles

$$h = 4m$$

$$L = 4m$$

$$\varphi_L = 1,3714$$

Factor de altura (φ_H)

$$\varphi_H = 1 - (1 - \varphi_{H1}) \times \left(\frac{z}{h}\right)^2$$

Tabla 12. Factor de altura. Fuente: proyecto.

	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)				
z/h	1	2	3	4	5
1,0	0,69	0,65	0,60	0,55	0,51
0,9	0,75	0,71	0,68	0,64	0,60
0,8	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68
0,7	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76
0,6	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82
0,5	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
0,4	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
0,3	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96
0,2	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98
0,1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

- En la base ($z=0$)

$$\frac{z}{h} = \frac{0,00}{4,00} = 0$$

Por lo tanto, el factor de altura en este caso será:

$$\varphi_H = 1,00$$

- En coronación ($z=4$)

$$\frac{z}{h} = \frac{4,00}{4,00} = 1,00$$

Mediante interpolación, se obtiene que:

$$\varphi_H = 0,55$$

Factor dinámico (φ_{dyn})

De manera genérica, los proyectos de pantallas acústicas ferroviarias en España adoptan un valor del factor dinámico de 3,25.

$$\varphi_{dyn} = 3,25$$

Presión sobre la superficie vertical

- Postes centrales

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,5496 \times 1 \times 3,25 \times 0,18$$

$$q_{DS}(z = 0) = 0,936 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 1,5496 \times 0,55 \times 3,25 \times 0,18$$

$$q_{DS}(z = 4) = 0,515kN/m^2$$

- Postes de extremo, reciben una presión doble

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,872kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 1,03N/m^2$$

- Paneles

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,3714 \times 1 \times 3,25 \times 0,18$$

$$q_{DS}(z = 0) = 0,829kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 1,3714 \times 0,55 \times 3,25 \times 0,18$$

$$q_{DS}(z = 4) = 0,4412kN/m^2$$

- Paneles de extremo, reciben una presión doble

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,658kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 0,882kN/m^2$$

4.3. Viento

$$v_b = C_{prob} \times C_{dir} \times C_{sea} \times v_{b,0}$$

- v_b : velocidad básica de diseño (m/s)
- C_{prob} : Coeficiente de probabilidad. Ajusta la velocidad para un periodo de retorno de 100 años, habitual en obra civil, frente al periodo de retorno de 50 años que representa el mapa IAPF.

$$C_{prob} = 1,04$$

- C_{dir} : Coeficiente de dirección del viento. Se escoge el valor más desfavorable, 1, para quedarnos del lado de la seguridad.
- C_{sea} : Coeficiente de cercanía al mar. Se escoge el valor más desfavorable, 1, para quedarnos del lado de la seguridad.
- $v_{b,0}$: velocidad básica fundamental. Se obtiene del mapa de isostáticas de España en función de la zona de emplazamiento. En este caso, Carcaixent (Valencia).



Figura 7. Mapa de isostáticas de España (IAPF). Fuente: EC 1-4.

$$v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

$$v_b = 1,04 \times 1,00 \times 1,00 \times 28 = 29,12 \text{ m/s}$$

El objetivo del apartado es calcular la velocidad media v_m

$$v_m = v_b \times C_r(z) \times C_o(z)$$

- v_m : velocidad media
- v_b : velocidad básica de diseño (m/s)
- $C_r(z)$: factor de rugosidad del terreno. Se obtiene de la tabla 3, en función del terreno. En este caso, nos encontramos en Carcaixent, con un terreno de categoría II.
- $C_o(z)$: factor de orografía. En este caso, Carcaixent presenta un terreno llano por lo general, y según el eurocodigo EC 1-4 si el terreno es llano o con pendiente menos de 3° :

$$C_o(z) = 1$$

Factor de rugosidad del terreno ($C_r(z)$)

$$C_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$k_r = 0,19 \times \ln\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right) = 0,19 \times \ln\left(\frac{0,05}{0,05}\right)$$

$$k_r = 0,19$$

Tabla 13. Categorías de terrenos y parámetros del terreno. Fuente: EC 1-4.

Categoría de terreno		z_0 m	z_{min} m
0	Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto	0,003	1
I	Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos	0,01	1
II	Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos	0,05	2
III	Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes)	0,3	5
IV	Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m	1,0	10
NOTA – Las categorías de terrenos se ilustran en el capítulo A.1.			

Categoría II

$$z_0 = 0,05m$$

$$z_{min} = 2,00m$$

$$z = 7,00m \text{ (altura de la pantalla)}$$

$$C_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{5,00}{0,05}\right) = 0,875$$

Con todo esto, la velocidad media es:

$$v_m = 29,12 \times 0,875 \times 1$$

$$v_m = 25,477 \text{ m/s}$$

4.4. Presión de velocidad

Presión de velocidad media (q_b)

$$q_b = 0,5 \times \rho \times (v_m)^2$$

- ρ : densidad del aire $1,25 \text{ kg/m}^3$
- v_m : velocidad media

$$q_b = 0,5 \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times (25,477 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2$$

$$q_b = 405,67 \text{ N/m}^2$$

Factor de exposición ($c_e(z)$)

$$c_e(z) = 1 + 7 \times I_v(z)$$

- $I_v(z)$: representa el valor de intensidad de turbulencias que depende a su vez de la rugosidad del terreno.

$$I_v(z) = k_1 / (c_0(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right))$$

Siendo:

- $k_1 = 1$
- $(c_o(z)) = 1$
- $z = 5,00m$
- $z_o = 0,05$

$$I_v(z) = 0,217$$

$$c_e(z) = 1 + 7 \times 0,217$$

$$c_e(z) = 2,52$$

Presión de velocidad pico (q_p)

$$q_p = c_e(z) \times q_b \left(\frac{N}{m} \right)$$

$$q_p = 2,52 \times 405,67 \frac{N}{m^2}$$

$$q_p = 1022,288 \frac{N}{m^2}$$

Características de la pantalla

$H=5,00$ metros

L (Longitud) = 156 metros

La pantalla acústica se divide en 4 zonas en función de la resistencia necesaria, ya que la presión de velocidad será mayor en el extremo de la pantalla que los vanos intermedios.

La normativa obliga a que el extremo tenga un mínimo de 5 metros, por ello y quedándonos del lado de la seguridad, para el cálculo de la tipología de los paneles, el extremo de la pantalla será directamente toda el área que abarca la zona B y el resto se considera zona intermedia.

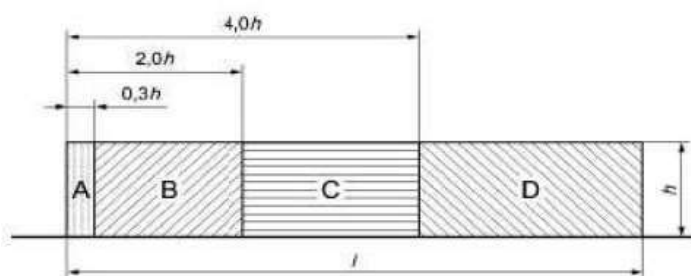


Figura 8. Distribución de zonas de zonas de presión. Fuente: proyecto.

Longitud de cada zona

- Zona A: 1,50 metros
- Zona B: 10,00 metros
- Zona C: 20,00 metros
- Zona D: 116,00 metros

Coefficiente de fuerza

Según la norma UNE-EN 1794-1 es, para cada zona de la pantalla:

- $C_{fa} = 3,4$
- $C_{fb} = 2,8$
- $C_{fc} = 1,7$
- $C_{fd} = 1,2$

Presión final

Es la presión que debe aguantar la pantalla de protección acústica

$$Pressure = q_p \times C_f$$

Zona B

$$Pressure (B) = 1129,03 \frac{N}{m^2} \times 2,8$$

$$Pressure (B) = 3,16 \text{ kN/m}^2$$

Zona D

$$Pressure (D) = 1129,03 \frac{N}{m^2} \times 1,2$$

$$Pressure (D) = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

Tabla 14. Resumen de presiones de la alternativa 1. Fuente: elaboración propia.

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Unidades
Presión	3,84	3,16	1,92	1,35	kN/m^2
Longitud	1,50	10,00	20,00	116,00	Metros

Carga viento		Carga aerodinámica		Combinación 0,6V+A			Carga resultante mayor		
B (KN/m ²)	D (KN/m ²)	CENTRAL (Z=0)	EXTREMO (Z=0)	Carga extremo	carga resto B	Carga D	Carga extremo	Carga resto B	Carga D
3.160	1.350	0.990	1.980	3.876	2.886	1.8	3.876	3.160	1.800

TIPOLOGÍA PANEL		
Panel	Viento diseño (kN/m ²)	Fatiga (kN/m ²)
IT1.1R	2,5	1,25
IT1.2R	3,0	1,80
IT5R	5,0	2,80

TIPOLOGÍA PANEL		
Panel	Viento diseño (kN/m ²)	Fatiga (kN/m ²)
15/M/4x1	2,44	2,50
20/M/4x1	4,11	2,50
20/M/4x1+Tubo	5,35	2,50

Figura 9. Tipologías de panel metálico y de metacrilato. Fuente: proveedores Acusttel.

Tabla 15. Solución de la distribución de la alternativa 1. Fuente: elaboración propia.

PROYECTO	Carga diseño extremo	Carga diseño B	Carga central
Carga proyecto	3.698	2.863	1.726
longitudes	8	12	Resto
Tipología panel	IT5R	IT1.2R	IT1.1R

PROYECTO	Carga diseño extremo	Carga diseño B	Carga central
Carga proyecto	3.698	2.863	1.726
longitudes	8	12	Resto
Tipología panel	20/M/4x1	20/M/4x1	15/M/4x1

4.5. Despiece

PANTALLA R358-R376 - PANEL MET 3,0m + PMMA 2m

Perfiles	Vanos	L vano	PK	TIPO PANEL	h ZOCALO	h pantalla met	h panel	unidades panel	L zócalo (mm)	L panel (mm)	PMMA h(m)/ud	PMMA	TIPO PERFIL
1	-	-	-	-		-	-	-		-	-	-	HEB 340
2	1	4	4	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
3	2	4	8	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
4	3	4	12	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
5	4	4	16	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
6	5	4	20	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
7	6	4	24	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
8	7	4	28	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
9	8	4	32	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
10	9	4	36	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
11	10	4	40	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
12	11	4	44	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
13	12	4	48	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
14	13	4	52	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
15	14	4	56	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
16	15	4	60	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
17	16	4	64	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
18	17	4	68	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
19	18	4	72	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
20	19	4	76	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
21	20	4	80	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
22	21	4	84	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
23	22	4	88	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
24	23	4	G2	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
25	24	4	G6	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
26	25	4	100	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
27	26	4	104	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
28	27	4	108	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
30	59	4	112	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
31	30	4	116	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
32	31	4	120	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
33	32	4	124	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
34	33	4	128	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
35	34	4	132	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
36	35	4	136	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
37	36	4	140	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x41	HEB 340
38	37	4	144	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x42	HEB 340
39	38	4	148	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x43	HEB 340
40	39	4	152	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x44	HEB 340
41	40	4	156	IT5R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x44	HEB 340

5. Cálculo pantalla acústica alternativa 3

5.1. Datos

- Velocidad del tren:

$$v = 259 \text{ km/h} = 69,44 \text{ m/s}$$

- Distancia al eje de la vía:

$$a_g = 7,05 \text{ m}$$

- Altura sobre carril: 4,00 m
- Altura de la pantalla: 5,00 m
- Separación entre postes: 4,00 m

5.2. Presión sobre superficie vertical

$$q_{DS} = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

- q_{DS} : Presión sobre superficie vertical
- φ_L : Factor de longitud. Corrige el valor de la presión en función de la longitud de influencia del elemento que se está calculando, postes o paneles.
- φ_H : Factor de altura, en función de la altura sobre carril.
- φ_{dyn} : Factor dinámico. Corrige el valor según las vibraciones del elemento, teniendo los efectos de resonancia o amplificación dinámica.
- q_{1K} : Presión aerodinámica base producida por el paso de los trenes. Se calcula en función de la distancia al eje de la vía (a_g) y de si el tren es aerodinámico o no (k_1).

Presión aerodinámica base (q_{1K})

$$q_{1K} = K_1 \times q_{1K,0} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- $K_1 = 0,60$. Valor cuando el material rodante es aerodinámico.
- $q_{1K,0}$: se obtiene de la gráfica de la figura 1, en función de los 7,05 metros de distancia al eje de la vía y teniendo en cuenta la velocidad del tren

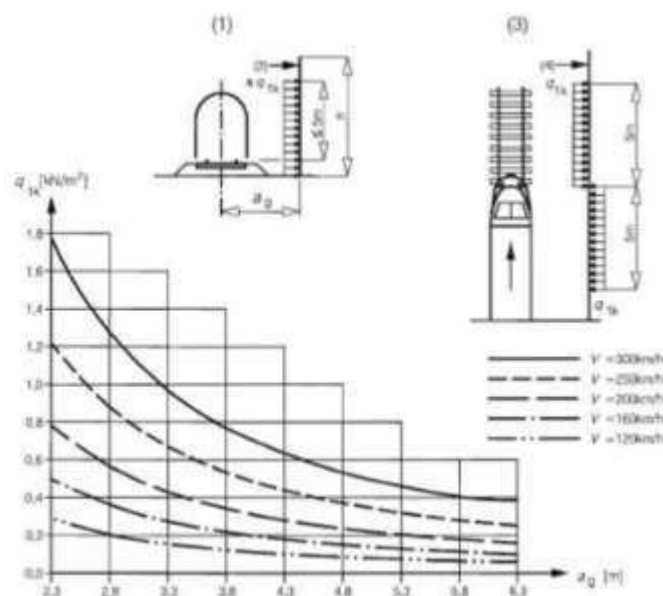


Figura 10. Presión característica básica. Fuente: documentación del proyecto.

$$q_{1K,0} = 0,202 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{K1} = 0,6 \times 0,202 = 0,1212 \text{ kN/m}^2$$

Factor de longitud (φ_L)

El factor de longitud se calcula en función de la altura sobre carril y la longitud de influencia, con la Tabla 1. Como en este caso la altura sobre carril es mayor que 5, se ha realizado una interpolación de la tabla, para lograr valores del factor de longitud para pantallas con mayor altura de carril, tabla 2.

Tabla 16. Factor de longitud. Fuente: proyecto.

Longitud de influencia (m)	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)				
L	1	2	3	4	5
0,0	0,97	1,12	1,27	1,42	1,56
2,5	0,95	1,10	1,25	1,40	1,54
5,0	0,92	1,06	1,20	1,35	1,49
7,5	1,02	1,18	1,33	1,49	1,65
10,0	1,21	1,40	1,59	1,78	1,97
12,5	1,44	1,66	1,88	2,11	2,33
15,0	1,69	1,95	2,21	2,47	2,73

Tabla 117. Interpolación lineal de la Tabla 1. Fuente: elaboración propia.

FACTOR DE LONGITUD SEGÚN ANEJO								
Longitud de influencia (m)	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)							
L	1	2	3	4	5	6	7	8
0,0	0,97	1,12	1,27	1,42	1,56	1,71	1,86	2,01
2,5	0,95	1,1	1,25	1,4	1,54	1,69	1,84	1,99
5,0	0,92	1,06	1,2	1,35	1,49	1,64	1,79	1,94
7,5	1,02	1,18	1,33	1,49	1,65	1,8	1,95	2,1
10,0	1,21	1,4	1,59	1,78	1,97	2,16	2,35	2,54
12,5	1,44	1,66	1,88	2,11	2,33	2,55	2,77	2,99
15,0	1,69	1,95	2,21	2,47	2,73	2,99	3,25	3,51

Realizando una interpolación, con la siguiente fórmula, se consigue el factor de longitud de los postes y paneles.

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times (x - x_1)$$

- Postes

$$h = 4m$$

La longitud de influencia de los postes son la suma de dos vanos, lo cual es lógico ya que

el mismo poste sujeta un vano a cada lado.

$$L = 8m$$

$$\varphi_L = 1,5496$$

- Paneles

$$h = 4m$$

$$L = 4m$$

$$\varphi_L = 1,3714$$

Factor de altura (φ_H)

$$\varphi_H = 1 - (1 - \varphi_{H1}) \times \left(\frac{z}{h}\right)^2$$

Tabla 18. Factor de altura. Fuente: proyecto.

	Altura de la pared h por encima de la parte superior del carril (m)				
z/h	1	2	3	4	5
1,0	0,69	0,65	0,60	0,55	0,51
0,9	0,75	0,71	0,68	0,64	0,60
0,8	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68
0,7	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76
0,6	0,89	0,87	0,86	0,84	0,82
0,5	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
0,4	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
0,3	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96
0,2	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98
0,1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

- En la base ($z=0$)

$$\frac{z}{h} = \frac{0,00}{4,00} = 0$$

Por lo tanto, el factor de altura en este caso será:

$$\varphi_H = 1,00$$

- En coronación ($z=4$)

$$\frac{z}{h} = \frac{4,00}{4,00} = 1,00$$

Mediante interpolación, se obtiene que:

$$\varphi_H = 0,55$$

Factor dinámico (φ_{dyn})

De manera genérica, los proyectos de pantallas acústicas ferroviarias en España adoptan un valor del factor dinámico de 3,25.

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

$$\varphi_{dyn} = 3,25$$

Presión sobre la superficie vertical

- Postes centrales

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,5496 \times 1 \times 3,25 \times 0,1212$$

$$q_{DS}(z = 0) = 0,6104 kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 1,5496 \times 0,55 \times 3,25 \times 0,1212$$

$$q_{DS}(z = 4) = 0,3357 kN/m^2$$

- Postes de extremo, reciben una presión doble

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,221 kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 0,6714 kN/m^2$$

- Paneles

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,3714 \times 1 \times 3,25 \times 0,1212$$

$$q_{DS}(z = 0) = 0,5402 kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 1,3714 \times 0,55 \times 3,25 \times 0,1212$$

$$q_{DS}(z = 4) = 0,2971 kN/m^2$$

- Paneles de extremo, reciben una presión doble

$$q_{DS}(z = 0) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 0) = 1,0803 kN/m^2$$

$$q_{DS}(z = 4) = \varphi_L \times \varphi_H \times \varphi_{dyn} \times q_{1K}$$

$$q_{DS}(z = 4) = 0,5942 kN/m^2$$

5.3. Viento

$$v_b = C_{prob} \times C_{dir} \times C_{sea} \times v_{b,0}$$

- v_b : velocidad básica de diseño (m/s)

- C_{prob} : Coeficiente de probabilidad. Ajusta la velocidad para un periodo de retorno de 100 años, habitual en obra civil, frente al periodo de retorno de 50 años que representa el mapa IAPF.

$$C_{prob} = 1,04$$

- C_{dir} : Coeficiente de dirección del viento. Se escoge el valor más desfavorable, 1, para quedarnos del lado de la seguridad.
- C_{sea} : Coeficiente de cercanía al mar. Se escoge el valor más desfavorable, 1, para quedarnos del lado de la seguridad.
- $v_{b,0}$: velocidad básica fundamental. Se obtiene del mapa de isostáticas de España en función de la zona de emplazamiento. En este caso, Carcaixent (Valencia).



Figura 11. Mapa de isostáticas de España (IAPF). Fuente: EC 1-4.

$$v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

$$v_b = 1,04 \times 1,00 \times 1,00 \times 28 = 29,12 \text{ m/s}$$

El objetivo del apartado es calcular la velocidad media v_m

$$v_m = v_b \times C_r(z) \times C_0(z)$$

- v_m : velocidad media
- v_b : velocidad básica de diseño (m/s)
- $C_r(z)$: factor de rugosidad del terreno. Se obtiene de la tabla 3, en función del terreno. En este caso, nos encontramos en Carcaixent, con un terreno de categoría II.
- $C_0(z)$: factor de orografía. En este caso, Carcaixent presenta un terreno llano por lo general, y según el eurocodigo EC 1-4 si el terreno es llano o con pendiente menos de 3°:

$$C_o(z) = 1$$

Factor de rugosidad del terreno ($C_r(z)$)

$$C_r(z) = k_r \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$k_r = 0,19 \times \ln\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right) = 0,19 \times \ln\left(\frac{0,05}{0,05}\right)$$

$$k_r = 0,19$$

Tabla 19. Categorías de terrenos y parámetros del terreno. Fuente: EC 1-4.

Categoría de terreno		z_0 m	z_{min} m
0	Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto	0,003	1
I	Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos	0,01	1
II	Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos	0,05	2
III	Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes)	0,3	5
IV	Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m	1,0	10

NOTA – Las categorías de terrenos se ilustran en el capítulo A.1.

Categoría II

$$z_0 = 0,05m$$

$$z_{min} = 2,00m$$

$$z = 7,00m \text{ (altura de la pantalla)}$$

$$C_r(z) = 0,19 \times \ln\left(\frac{5,00}{0,05}\right) = 0,875$$

Con todo esto, la velocidad media es:

$$v_m = 29,12 \times 0,875 \times 1$$

$$v_m = 25,477 \text{ m/s}$$

5.4. Presión de velocidad

Presión de velocidad media (q_b)

$$q_b = 0,5 \times \rho \times (v_m)^2$$

- ρ : densidad del aire $1,25 \text{ kg/m}^3$
- v_m : velocidad media

$$q_b = 0,5 \times 1,25 \text{ kg/m}^3 \times \left(25,477 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$q_b = 405,67 \text{ N/m}^2$$

Factor de exposición ($c_e(z)$)

$$c_e(z) = 1 + 7 \times I_v(z)$$

- $I_v(z)$: representa el valor de intensidad de turbulencias que depende a su vez de la rugosidad del terreno.

$$I_v(z) = k_1 / (c_o(z) \times \ln(\frac{z}{z_0}))$$

Siendo:

- $k_1 = 1$
- $(c_o(z) = 1$
- $z = 5,00m$
- $z_0 = 0,05$

$$I_v(z) = 0,217$$

$$c_e(z) = 1 + 7 \times 0,217$$

$$c_e(z) = 2,52$$

Presión de velocidad pico (q_p)

$$q_p = c_e(z) \times q_b \left(\frac{N}{m} \right)$$

$$q_p = 2,52 \times 405,67 \frac{N}{m^2}$$

$$q_p = 1022,288 \frac{N}{m^2}$$

Características de la pantalla

$H=5,00$ metros

L (Longitud) = 15c metros

La pantalla acústica se divide en 4 zonas en función de la resistencia necesaria, ya que la presión de velocidad será mayor en el extremo de la pantalla que los vanos intermedios.

La normativa obliga a que el extremo tenga un mínimo de 5 metros, por ello y quedándonos del lado de la seguridad, para el cálculo de la tipología de los paneles, el extremo de la pantalla será directamente toda el área que abarca la zona B y el resto se considera zona intermedia.

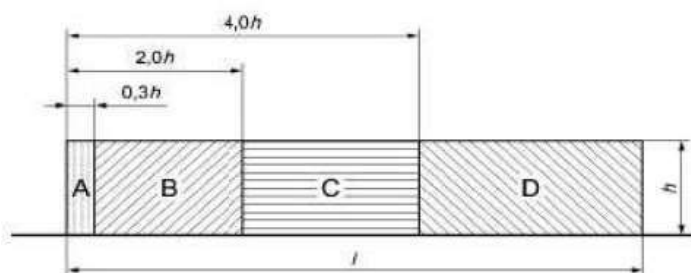


Figura 12. Distribución de zonas de zonas de presión. Fuente: proyecto.

Longitud de cada zona

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

- Zona A: 1,50 metros
- Zona B: 10,00 metros
- Zona C: 20,00 metros
- Zona D: 116,00 metros

Coeficiente de fuerza

Según la norma UNE-EN 1794-1 es, para cada zona de la pantalla:

- $C_{fa} = 3,4$
- $C_{fb} = 2,8$
- $C_{fc} = 1,7$
- $C_{fd} = 1,2$

Presión final

Es la presión que debe aguantar la pantalla de protección acústica

$$Pressure = q_p \times C_f$$

Zona B

$$Pressure (B) = 1129,03 \frac{N}{m^2} \times 2,8$$

$$Pressure (B) = 3,16 \text{ kN/m}^2$$

Zona D

$$Pressure (D) = 1129,03 \frac{N}{m^2} \times 1,2$$

$$Pressure (D) = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

Tabla 20. Resumen de presiones de la alternativa 3. Fuente: elaboración propia.

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Unidades
Presión	3,84	3,16	1,92	1,35	kN/m ²
Longitud	1,50	10,00	20,00	116,00	Metros

Carga viento		Carga aerodinámica		Combinación 0,6V+A			Carga resultante mayor		
B (kN/m ²)	D (kN/m ²)	CENTRAL (Z=0)	EXTREMO (Z=0)	Carga extremo	carga resto B	Carga D	Carga extremo	Carga resto B	Carga D
3.160	1.350	0.990	1.980	3.876	2.886	1.8	3.876	3.160	1.800

TIPOLOGÍA PANEL		
Panel	Viento diseño (kN/m ²)	Fatiga (kN/m ²)
IT1.1R	2,5	1,25
IT1.2R	3,0	1,80
ITSR	5,0	2,80

TIPOLOGÍA PANEL		
Panel	Viento diseño (kN/m ²)	Fatiga (kN/m ²)
15/M/4x1	2,44	2,50
20/M/4x1	4,11	2,50
20/M/4x1+Tubo	5,35	2,50

Figura 13. Tipologías de panel metálico y de metacrilato. Fuente: proveedores Acusttel.

Tabla 21. Solución de la distribución de la alternativa 3. Fuente: elaboración propia.

PROYECTO	Carga diseño extremo	Carga diseño B	Carga central
Carga proyecto	2,863	2.863	1.276
longitudes	8	12	Resto
Tipología panel	IT1.2R	IT1.2R	IT1.1R

PROYECTO	Carga diseño extremo	Carga diseño B	Carga central
Carga proyecto	2,863	2.863	1.276
longitudes	8	12	Resto
Tipología panel	20/M/4x1	20/M/4x1	15/M/4x1

5.5. Despiece

PANTALLA R358-R376 - PANEL MET 3,0m + PMMA 2m

Perfiles	Vanos	L vano	PK	TIPO PANEL	h ZOCALO	h pantalla met	h panel	unidades panel	L zócalo (mm)	L panel (mm)	PMMA h(m)/ud	PMMA	TIPO PERFIL
1	-	-	-	-		-	-	-		-	-	-	HEB 340
2	1	4	4	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
3	2	4	8	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
4	3	4	12	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
5	4	4	16	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
6	5	4	20	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
7	6	4	24	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
8	7	4	28	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
9	8	4	32	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
10	9	4	36	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
11	10	4	40	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
12	11	4	44	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
13	12	4	48	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
14	13	4	52	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
15	14	4	56	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
16	15	4	60	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
17	16	4	64	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
18	17	4	68	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
19	18	4	72	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
20	19	4	76	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
21	20	4	80	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
22	21	4	84	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
23	22	4	88	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
24	23	4	G2	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
25	24	4	G6	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
26	25	4	100	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
27	26	4	104	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
28	27	4	108	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
30	59	4	112	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
31	30	4	116	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
32	31	4	120	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
33	32	4	124	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
34	33	4	128	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
35	34	4	132	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
36	35	4	136	IT1.1R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	15/M/4x1	HEB 340
37	36	4	140	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
38	37	4	144	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
39	38	4	148	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
40	39	4	152	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340
41	40	4	156	IT1.2R		3.00	0.5	6.00	3930	3950	2	20/M/4x1	HEB 340