

Anejo Nacional
AN/UNE-EN 1991-1-4

Eurocódigo 1: Acciones en estructuras

Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de Viento

Índice

AN.1	Objeto y campo de aplicación.....	5
AN.2	Parámetros de determinación nacional (NDP).....	9
AN.3	Decisión sobre la aplicación de los anexos informativos	20
AN.4	Información complementaria no contradictoria (NCCI)	21

AN.1 Objeto y campo de aplicación

Este anexo nacional define las condiciones de aplicación en el territorio español de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

En el capítulo AN.2 se fijan los valores de los Parámetros de Determinación Nacional (NDP)⁵⁾ que la norma UNE-EN 1991-1-4 deja abiertos para ser establecidos a nivel nacional.

En el capítulo AN.3 se indica si los anexos informativos de la Norma UNE-EN 1991-1-4 se convierten en normativos, mantienen su carácter informativo o no son de aplicación en España.

Este anexo nacional contiene además *Información Complementaria No Contradictoria* (NCCI)⁶⁾ cuyo objeto es facilitar la aplicación de la norma en España. Tiene carácter de *información complementaria no contradictoria*:

- los párrafos en cursiva del capítulo AN.2;
- todo el capítulo AN.4.

Los apartados de la Norma UNE-EN 1991-1-4 que contienen parámetros de determinación nacional son los que se indican a continuación.

1.5 (2)	Obtención de las cargas y de los parámetros del terreno a partir de ensayos y medidas <i>in situ</i>
4.1 (1)	Información climática para la obtención directa de algunos parámetros
4.2 (1)P Nota 2	Velocidad básica fundamental del viento
4.2 (2)P Notas 1, 2, 3 y 5	Cálculo de la velocidad básica de viento
4.3.1 (1) Notas 1 y 2	Variación con la altura de la velocidad media del viento
4.3.2 (1)	Cálculo del factor de rugosidad
4.3.2 (2)	Sectores angulares y distancia a barlovento
4.3.3 (1)	Cálculo del factor de topografía
4.3.4 (1)	Consideración de estructuras vecinas
4.3.5 (1)	Consideración de edificios cercanos y obstáculos
4.4 (1) Nota 2	Valor del factor de turbulencia
4.5 (1) Nota 1	Cálculo de la presión correspondiente a la velocidad de pico del viento a una altura <i>z</i> sobre el terreno

5) Las siglas corresponden a su traducción en inglés "Nationally Determined Parameters" (NDP).

6) Las siglas corresponden a su traducción en inglés "Non-Contradictory Complementary Information" (NCCI).

4.5 (1) Nota 2	Densidad del aire
5.3 (5)	Correlación entre la presión de viento a barlovento y sotavento
6.1 (1)	Consideración del factor estructural $c_s c_d$ como producto del factor dinámico c_d y el factor de forma c_s
6.3.1 (1) Nota 3	Procedimiento para la determinación del factor estructural $c_s c_d$
6.3.2 (1)	Evaluación en condiciones de servicio
7.1.2 (2)	Distribución asimétrica de presiones
7.1.3 (1)	Influencia del hielo y la nieve en la geometría de la estructura
7.2.1 (1) Nota 2	Criterio para determinar el coeficiente de presión externa c_{pe} en superficies mayores de 1 m ² .
7.2.2 (1)	Altura de referencia para el cálculo de la presión del viento en paredes verticales de edificios de planta rectangulares
7.2.2 (2) Nota 1	Valores de $c_{pe,1}$ y $c_{pe,10}$
7.2.3(2)	Definición de zonas en cubiertas planas
7.2.3(4)	Coeficientes de presión en cubiertas planas
7.2.4(1)	Definición de zonas en cubiertas a un agua
7.2.4(3)	Coeficientes de presión en cubiertas a un agua
7.2.5(1)	Definición de zonas en cubiertas a dos aguas
7.2.5(3)	Coeficientes de presión en cubiertas a dos aguas
7.2.6(1)	Definición de zonas en cubiertas a cuatro aguas
7.2.6(3)	Coeficientes de presión en cubiertas a cuatro aguas
7.2.8 (1)	Valores de $c_{pe,1}$ y $c_{pe,10}$ en bóvedas y cúpulas
7.2.9 (2)	Coeficiente de presión interna
7.2.10 (3) Notas 1 y 2	Presión sobre muros y cubiertas formados por más de una capa
7.3(6)	Localización cargas en marquesinas a un solo agua
7.4.1 (1)	Coeficientes de presión en muros exentos y barandillas
7.4.3 (2)	Excentricidad horizontal en paneles de señalización
7.6 (1) Nota 1	Factor de reducción en secciones rectangulares con esquinas redondeadas

7.7 (1) Nota 1	Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ en secciones de poco espesor y bordes vivos
7.8 (1)	Coeficiente de fuerza $c_{f,0}$ en secciones poligonales regulares
7.9.2 (2)	Rugosidad superficial equivalente en superficies antiguas
7.9.3 Tabla 7.14	Factor k para cilindros verticales alineados cuando $a/b < 2,5$
7.10 (1) Nota 1	Coeficiente de fuerza $c_{f,x}$ en esferas
7.11 (1) Nota 2	Reducción del factor del efecto cola en celosías y andamios
7.13 (1)	Valor del factor del efecto cola en función de la turbulencia
7.13 (2)	Esbeltez efectiva y factor del efecto-cola
8.1 (1) Nota 1	Acción del viento en otros tipos de puentes
8.1 (1) Nota 2	Ángulo de la dirección del viento con respecto al eje del tablero
8.1 (4)	Simultaneidad de tráfico rodado y viento. Velocidad $v_{b,0}^*$ que sustituye a la velocidad básica fundamental del viento
8.1 (5)	Simultaneidad de tráfico ferroviario y viento. Velocidad $v_{b,0}^{**}$ que sustituye a la velocidad básica fundamental del viento
8.2 (1) Nota 1	Consideración de los efectos dinámicos del viento
8.3 (1)	Coeficientes de fuerza en barandillas, pretilas y pórticos de puentes
8.3.1 (2)	Reducción del coeficiente de fuerza por inclinación de superficies
8.3.2 (1)	Valor del factor de carga del viento
8.3.3 (1) Nota 1	Coeficiente de fuerza en tableros en dirección Z
8.3.4 (1)	Empuje del viento en tableros en dirección Y
8.4.2 (1) Notas 1 y 2	NOTA 1 Reglas simplificadas para el cálculo de los efectos del viento en pilas NOTA 2 Efectos del viento en pilas. Cargas asimétricas
A.2 (1)	Criterios de transición de rugosidad entre categorías de terreno
E.1.3.3 (1)	Densidad del aire
E.1.5.1 (1) Notas 1 y 2	Método de cálculo de la amplitud por desprendimiento de vórtices por viento transversal
E.1.5.1 (3)	Regiones para la aplicación del método 2 para el cálculo de la amplitud del viento transversal

E.1.5.2.6 (1) Nota 1	Número de ciclos de carga
E.1.5.3 (2) Nota 1	Valor de la densidad del aire
E.1.5.3 (4)	Valor de la constante de amortiguamiento aerodinámico
E.1.5.3 (6)	Valor del factor de pico
E.3 (2)	Parámetro de estabilidad combinada

AN.2 Parámetros de determinación nacional (NDP)

Capítulo 1 Generalidades

1.5(2) Obtención de las cargas y de los parámetros del terreno a partir de ensayos y medidas *in situ*

En el caso de obras de especial relevancia o cuando la proximidad de construcciones o elementos de relieve puedan afectar significativamente al flujo de aire incidente, es aconsejable recurrir a la medición *in situ* de las condiciones de viento o a la realización de ensayos en túnel de viento.

La medición *in situ* de las condiciones de viento debe realizarse con anemómetros y veletas calibrados. El sistema de medición debe ser capaz de medir y registrar la velocidad instantánea del viento con una periodicidad mínima de 0,5 s. Al cabo de cada período de 10 min, el sistema debe almacenar las velocidades máxima, mínima y media, la desviación típica de la velocidad y la dirección media del viento; además, y de forma opcional, se podrán registrar las historias de velocidades y de direcciones de viento.

La medición de los parámetros del viento debe realizarse en uno o varios puntos, de forma que los resultados obtenidos permitan evaluar con seguridad las acciones de viento sobre la construcción a proyectar. Los puntos de medición deben estar alejados de cualquier obstáculo de pequeñas dimensiones en comparación con las dimensiones de la construcción que pudiera alterar los resultados.

La altura de los puntos de medición debe coincidir sensiblemente con la altura media de aplicación de las acciones de viento. En el caso de un puente, la altura más significativa será la del tablero. En el caso de un edificio o cualquier otra construcción en altura, el punto de medición debe estar situado por encima de los 2/3 de la altura total del edificio.

El tiempo mínimo de medición del viento debe ser aquel que permita evaluar con seguridad las acciones del viento sobre la construcción. En el caso de que se pretenda definir la velocidad básica fundamental, el período mínimo debe ser de 3 años y los resultados deberán contrastarse con los de las estaciones meteorológicas más próximas a fin de asegurar que el período controlado no sea excepcional por uno u otro motivo.

En el caso de que se pretenda definir las condiciones locales del viento a causa de la especial configuración topográfica del lugar, el período de medición debe ser el mínimo necesario para que se produzcan episodios de viento significativo.

*La determinación de la velocidad básica fundamental o de su equivalente a la altura que se considere significativa requiere llevar a cabo una estadística de extremos sobre las medidas tomadas *in situ* según se explica en los tratados disponibles en la literatura técnica. El contraste con los datos de las estaciones meteorológicas se debe hacer sobre la base de los datos de que se disponga en cada caso (velocidad de ráfaga, velocidad media en 10 min, etc.) y teniendo en cuenta las características topográficas tanto en el emplazamiento estudiado como en la estación.*

*El estudio de las características del viento en un entorno topográfico determinado se puede realizar *in situ* o sobre un modelo reducido. El estudio mediante modelos numéricos tiene normalmente efectos indicativos.*

Capítulo 4 Velocidad y presión del viento

4.1(1) Información climática para la obtención directa de algunos parámetros

No se aporta información adicional y se adoptan los procedimientos recomendados.

4.2(1)P Nota 2 Velocidad básica fundamental del viento

La velocidad básica fundamental del viento $v_{b,0}$ es la indicada en el mapa de isotacas de la figura AN.1.

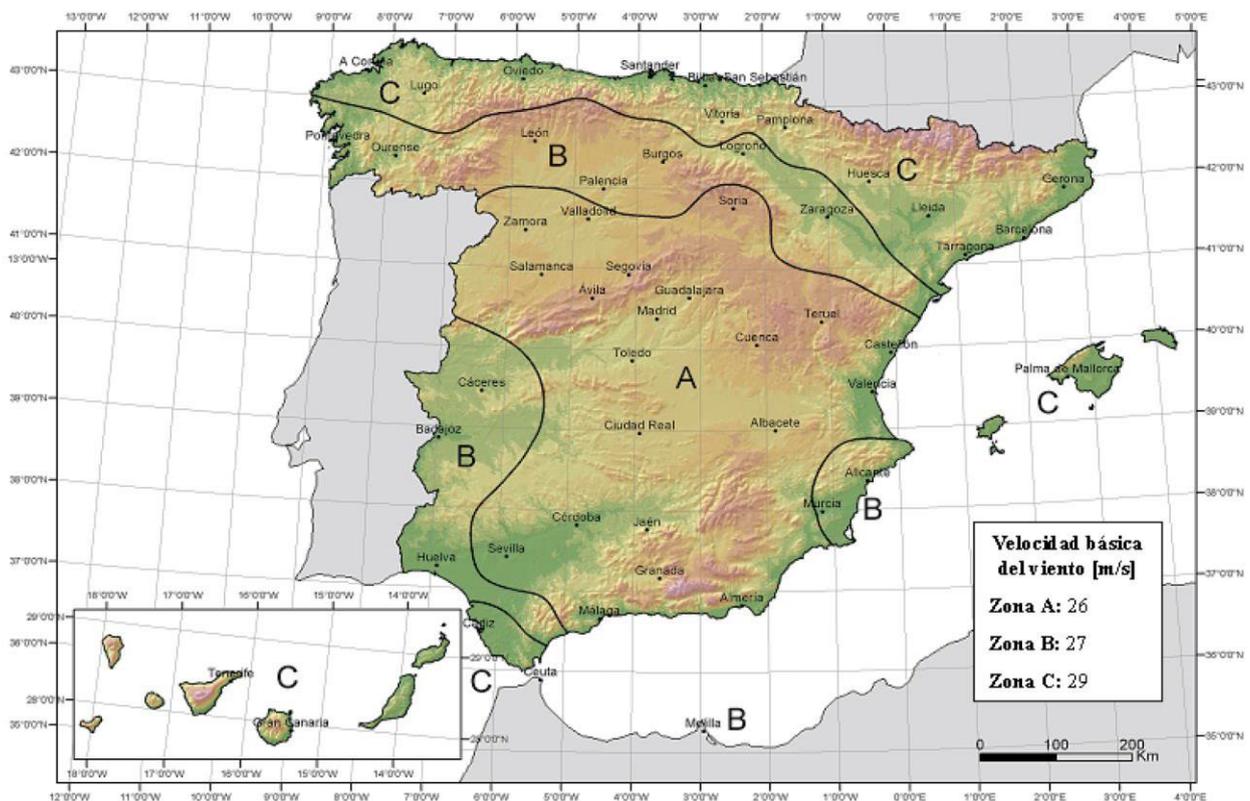


Figura AN.1 – Mapa de isotacas de la velocidad básica fundamental del viento $v_{b,0}$

4.2(2)P Notas 1, 2, 3 y 5 Cálculo de la velocidad básica de viento

Se adoptan los valores recomendados.

NOTA 1 No se proponen recomendaciones adicionales para tener en cuenta la influencia de la altitud en la velocidad básica del viento, $v_{b,0}$.

NOTA 2 Se adopta el valor recomendado.

NOTA 3 Se adopta el valor recomendado.

NOTA 5 Se adoptan los valores recomendados.

4.3.1(1) Notas 1 y 2 Variación con la altura de la velocidad media del viento

NOTA 1 El factor de topografía se toma habitualmente $c_o = 1,0$. En valles en los que se pueda producir un encauzamiento del viento actuante sobre la estructura se debe tomar para c_o un valor de 1,1. Cuando existan obstáculos naturales susceptibles de perturbar apreciablemente el flujo del viento sobre la estructura, el valor de c_o se debe determinar mediante un estudio específico. En los casos en los que sea de aplicación, el valor del coeficiente c_o puede modificarse de acuerdo con el capítulo A.3.

En el caso de que la orografía pueda afectar de forma apreciable a la velocidad del viento incidente sobre la construcción, es recomendable la medida directa de esta velocidad y su comparación con el valor de la velocidad de viento en una zona cercana y no afectada por el efecto de la orografía. La relación entre estas dos velocidades puede utilizarse para evaluar el producto $c_r c_o$.

NOTA 2 No se da información adicional sobre el valor $v_m(z)$.

4.3.2(1) Cálculo del factor de rugosidad

Se adopta el procedimiento recomendado.

4.3.2(2) Sectores angulares y distancia a barlovento

Se adoptan los valores recomendados.

4.3.3(1) Cálculo del factor de topografía

Para el valor de c_o se deben tener en cuenta las indicaciones de la nota 1 del punto (1) del apartado 4.3.1.

4.3.4(1) Consideración de estructuras vecinas

Se adopta el procedimiento recomendado en el capítulo A.4.

4.3.5(1) Consideración de edificios cercanos y obstáculos

Se adopta el procedimiento recomendado en el capítulo A.5.

4.4(1) Nota 2 Valor del factor de turbulencia

Se adopta el valor recomendado.

4.5(1) Nota 1 Cálculo de la presión correspondiente a la velocidad de pico del viento a una altura z sobre el terreno

Se adopta el procedimiento recomendado.

4.5(1) Nota 2 Valor de la densidad del aire

Se adopta el valor recomendado.

Capítulo 5 Acciones de viento

5.3(5) Correlación entre la presión de viento a barlovento y sotavento

Se adoptan los valores recomendados.

Capítulo 6 Factor estructural $c_s c_d$

6.1(1) Consideración del factor estructural $c_s c_d$ como producto del factor dinámico c_d y el factor de forma c_s

No se aporta información adicional.

En estructuras de edificación con esbelteces en el plano de actuación de la acción del viento inferiores a 6, puede suponerse que $c_s c_d = 1$.

6.3.1(1) Nota 3 Procedimiento para la determinación del factor estructural $c_s c_d$

Se adoptan los procedimientos recomendados.

6.3.2(1) Evaluación en condiciones de servicio

Se adoptan los procedimientos recomendados.

Capítulo 7 Coeficientes de presión y fuerza

7.1.2(2) Distribución asimétrica de presiones

Se adoptan los valores recomendados.

7.1.3(1) Influencia del hielo y la nieve en la geometría de la estructura

No se aporta información complementaria.

7.2.1(1) Nota 2 Criterio para determinar el coeficiente de presión externa c_{pe} en superficies mayores de 1 m²

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.2(1) Altura de referencia para el cálculo de la presión del viento en paredes verticales de edificios de planta rectangulares

Se adopta el procedimiento recomendado.

7.2.2(2) Nota 1 Valores de $c_{pe,1}$ y $c_{pe,10}$ en muros verticales

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.3(2) Definición de zonas en cubiertas planas

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.3(4) Coeficientes de presión en cubiertas planas

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.4(1) Definición de zonas en cubiertas a un agua

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.4(3) Coeficientes de presión en cubiertas a un agua

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.5(1) Definición de zonas en cubiertas a dos aguas

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.5(3) Coeficientes de presión en cubiertas a dos aguas

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.6(1) Definición de zonas en cubiertas a cuatro aguas

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.6(3) Coeficientes de presión en cubiertas a cuatro aguas

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.8(1) Valores de $c_{pe,1}$ y $c_{pe,10}$ en bóvedas y cúpulas

Se adoptan los valores recomendados.

7.2.9(2) Coeficiente de presión interna

No se incluye información adicional.

7.2.10(3) Notas 1 y 2 Presión sobre muros y cubiertas formados por más de una capa

Se adoptan los valores recomendados.

7.3(6) Localización cargas en marquesinas a un solo agua

Se adoptan las zonas recomendadas.

7.4.1(1) Coeficientes de presión en muros exentos y barandillas

Se adoptan los valores recomendados.

7.4.3(2) Excentricidad horizontal en paneles de señalización

Se adopta el valor recomendado.

7.6(1) Nota 1 Factor de reducción en secciones rectangulares con esquinas redondeadas

Se adoptan los valores recomendados.

7.7(1) Nota 1 Coeficiente de fuerza c_{f0} en secciones de poco espesor y bordes vivos

Se adopta el valor recomendado.

7.8(1) Coeficiente de fuerza c_{f0} en secciones poligonales regulares

Se adoptan los valores recomendados en la tabla 7.11.

7.9.2(2) Rugosidad superficial equivalente en superficies antiguas

No se proporciona información adicional.

7.9.3 Tabla 7.14 Factor k para cilindros verticales alineados cuando $a/b < 2,5$

No se proporciona información adicional.

7.10(1) Nota 1 Coeficiente de fuerza $c_{f,x}$ en esferas

Se adoptan los valores recomendados.

7.11(1) Nota 2 Reducción del factor del efecto cola en celosías y andamios

Se adoptan los valores recomendados.

7.13(1) Valor del factor del efecto cola en función de la turbulencia

No se aporta información adicional relativa a la influencia del efecto de la turbulencia. Se adoptan los valores recomendados.

7.13(2) Esbeltez efectiva y factor del efecto cola

Se adoptan los valores recomendados.

Capítulo 8 Acciones de viento en puentes

8.1(1) Nota 1 Acción del viento en otros tipos de puentes

La acción del viento en puentes de tipos diferentes a los recogidos en la figura 8.1 se puede evaluar a partir de lo especificado en ella, siempre que los elementos analizados sean asimilables a los contemplados en la misma (segmentos de pilas, arco o tablero, cables, etc.).

Cuando no sea posible determinar la acción del viento a partir de lo especificado en la Norma UNE-EN 1991-1-4, se debe recurrir a otros medios como ensayo en túnel de viento, hipótesis simplificadoras manifiestamente conservadoras, referencias bibliográficas o, con las precauciones y salvedades expresadas en este anexo nacional en los comentarios al punto (2) del apartado 1.5, mediante cálculo numérico.

En el caso de puentes móviles, es necesario considerar las distintas posiciones del puente combinadas con las distintas direcciones del viento. Entre las posiciones del puente es preciso considerar, además de la posición habitual de puente cerrado, la de puente totalmente abierto. Entre las direcciones del viento es preciso considerar al menos la dirección horizontal transversal al eje del puente y la dirección horizontal paralela al eje del puente. Si en el movimiento del puente pudiera existir alguna dirección de viento especialmente perjudicial para la integridad estructural del mismo o de los mecanismos de movimiento, esta dirección y la posición correspondiente del puente deben ser consideradas en la evaluación de la acción del viento.

8.1(1) Nota 2 Ángulo de la dirección del viento con respecto al eje del tablero

Para evaluar la acción del viento sobre la estructura, se debe considerar su actuación en dos direcciones:

- perpendicular al eje del tablero: dirección transversal (X). Esta componente puede ir acompañada de una componente asociada en dirección vertical (Z);
- paralela al eje del tablero: dirección longitudinal (Y).

Si el tablero es de planta curva, se supone que la dirección longitudinal es la de la cuerda que une los dos extremos del puente y que la dirección transversal es su perpendicular. Para cada dirección, el sentido de aplicación de la fuerza del viento es el que resulte más desfavorable para el elemento y efecto en estudio.

Alternativamente, para el cálculo del efecto del viento sobre el tablero, se puede considerar, y siempre que la amplitud angular del arco definido en planta por el tablero no supere 90° , lo siguiente:

- un viento radial, normal a la superficie lateral del tablero en cada punto, cuyo valor característico será el mismo que el definido para el viento transversal sobre el tablero;
- un viento tangencial a la directriz en cada punto, cuyo valor característico será el mismo que el definido para el viento longitudinal sobre el tablero.

Análogamente, en las pilas de puentes de tablero curvo en planta, y siempre que la amplitud angular del arco definido por el tablero no supere 90° , se puede considerar que las dos direcciones del viento son:

- perpendicular a la directriz del tablero en cada pila, que se debe considerar concomitante con el viento transversal sobre el tablero;
- tangente a la directriz del tablero en cada pila, que se debe considerar concomitante con el viento longitudinal sobre el tablero.

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

En el caso de que las especiales características topográficas del emplazamiento produzcan habitualmente vientos en dirección oblicua al eje del tablero, o cuando la estructura pueda ser especialmente sensible a vientos oblicuos, se debe comprobar además la seguridad estructural para estos vientos. Para ello se debe determinar la presión de la velocidad básica del viento, $1/2 \rho v_b^2(T)$, correspondiente a la dirección oblicua, se debe descomponer vectorialmente esta presión en las dos direcciones, longitudinal y transversal, se calculan independientemente los empujes correspondientes y ambos se consideran aplicados simultáneamente sobre la estructura.

8.1(4) Simultaneidad de tráfico rodado y viento. Velocidad $v_{b,0}^*$ que sustituye a la velocidad básica fundamental del viento

Se adopta el valor recomendado.

Según este párrafo de la Norma UNE-EN 1991-1-4, cuando la acción del tráfico rodado sea simultánea con la acción del viento, el valor de combinación $\psi_0 F_w$ debe limitarse a F_w^ obtenido con $v_b^* = 23 \text{ m/s}$. Dado que, en el territorio español, la máxima velocidad básica fundamental es $v_{b,0} = 29 \text{ m/s}$ (véase la figura AN.1) y teniendo en cuenta que para el viento $\psi_0 = 0,60$ (véase el anexo nacional de la Norma UNE-EN 1990), esta limitación no es condicionante en España para los puentes de carretera ($\psi_0 v_{b,0}^2 < 0,6 \cdot 29^2 = 504,6$ es siempre menor que $v_b^* = 23^2 = 529$).*

8.1(5) Simultaneidad de tráfico ferroviario y viento. Velocidad $v_{b,0}^{}$ que sustituye a la velocidad básica fundamental del viento**

Se adopta el valor recomendado.

*Según este párrafo de la Norma UNE-EN 1991-1-4, cuando la acción del tráfico ferroviario sea simultánea con la acción del viento, el valor de combinación $\psi_0 F_w$ debe limitarse a F_w^{**} obtenido con $v_b^{**} = 25 \text{ m/s}$. Solamente en el peor de los casos, con $v_{b,0} = 29 \text{ m/s}$ (véase la figura AN.1), y teniendo en cuenta que para el viento $\psi_0 = 0,75$ (véase el anexo nacional de la Norma UNE-EN 1990), esta limitación es condicionante.*

8.2(1) Nota 1 Consideración de los efectos dinámicos del viento

En el capítulo AN.4 de este anexo nacional se incluyen criterios para la consideración de los efectos dinámicos del viento.

8.3(1) Coeficientes de fuerza en barandillas, pretilos y pórticos de puentes

Se adoptan los valores recomendados.

8.3.1(2) Reducción del coeficiente de fuerza por inclinación de superficies

No se incluyen especificaciones adicionales al respecto.

8.3.2(1) Valor del factor de carga del viento

Se adoptan los valores recomendados.

Los valores recomendados para la obtención del factor de carga C se basan en un coeficiente de topografía $c_o = 1,0$.

8.3.3(1) Nota 1 Coeficiente de fuerza en tableros en dirección Z

En ausencia de ensayos en túnel de viento, se adopta el valor recomendado $c_{fz} = \pm 0,90$ sin tener en cuenta la figura 8.6.

8.3.4(1) Empuje de viento en tableros en dirección Y

Se adoptan los valores recomendados multiplicados por el coeficiente reductor siguiente:

$$1 - \left(\frac{7}{c_o \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) + 7} \right) \Phi [L/L(z)]$$

donde

c_o es el factor de topografía definido en el apartado 4.3.1;

z es la altura sobre el terreno [m];

z_0 es la longitud de la rugosidad [m], según tabla 4.1;

$$\Phi \left[L/L(z) \right] = 0,230 + 0,182 \ln \left[L/L(z) \right]$$

siendo

$$0 \leq \Phi \left[L/L(z) \right] \leq 1$$

L es la longitud sobre la cual actúa el empuje longitudinal [m]. Se toma igual a la longitud total del puente;

$L(z)$ es la longitud integral de la turbulencia [m] definida en el capítulo B.1.

8.4.2(1) Nota 1 Reglas simplificadas para el cálculo de los efectos del viento en pilas de puentes

En el apartado AN.4.2 se incluyen reglas simplificadas para la determinación del empuje de viento en pilas.

8.4.2(1) Nota 2 Efectos del viento en pilas. Cargas asimétricas

No se proporciona información adicional.

Anexo A (Informativo) Efectos del terreno

A.2(1) Criterios de transición de rugosidad entre categorías de terreno

Se debe adoptar en general el procedimiento 1, a menos que la estructura muestre una gran sensibilidad a la dirección del viento, en cuyo caso se utiliza el procedimiento 2.

Anexo E (Informativo) Desprendimiento de vórtices e inestabilidades aeroelásticas

E.1.3.3(1) Densidad del aire

Se adopta el valor recomendado.

E.1.5.1(1) Notas 1 y 2 Método de cálculo de la amplitud por desprendimiento de vórtices por viento transversal

Se adopta el método 1 definido en el apartado E.1.5.2. El método 2 no es de aplicación.

E.1.5.1(3) Regiones para la aplicación del método 2 para el cálculo de la amplitud del viento transversal

El método 2 no es de aplicación.

E.1.5.2.6(1) Nota 1 Número de ciclos de carga

Se adopta el valor recomendado.

E.1.5.3(2) Nota 1 Valor de la densidad del aire

Se adopta el valor recomendado.

E.1.5.3(4) Valor de la constante de amortiguamiento aerodinámico

Se adopta el valor recomendado.

E.1.5.3(6) Valor del factor de pico

Se adopta el procedimiento recomendado.

E.3(2) Parámetro de estabilidad combinada

No se aporta información adicional. Se adopta el valor recomendado.

AN.3 Decisión sobre la aplicación de los anexos informativos

Anexo A Efectos del terreno

El anexo A mantiene el carácter informativo para la aplicación de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

Anexo B Procedimiento 1 para la determinación del factor estructural c_s c_d

El anexo B mantiene el carácter informativo para la aplicación de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

Anexo C Procedimiento 2 para la determinación del factor estructural c_s c_d

El anexo C mantiene el carácter informativo para la aplicación de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

Anexo D Valores de c_s c_d para diferentes tipos de estructuras

El anexo D mantiene el carácter informativo para la aplicación de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

Anexo E Desprendimiento de vórtices e inestabilidades aeroelásticas

El anexo E mantiene el carácter informativo para la aplicación de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

Anexo F Características dinámicas de las estructuras

El anexo F mantiene el carácter informativo para la aplicación de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

AN.4 Información complementaria no contradictoria (NCCI)

AN.4.1 Criterios y procedimientos para considerar los efectos aeroelásticos del viento

AN.4.1.1 Necesidad de comprobación

En edificación convencional, en general, no es necesaria la comprobación de efectos aeroelásticos.

No es necesario comprobar los efectos aeroelásticos en puentes y pasarelas que cumplan simultáneamente las tres condiciones siguientes:

- Luz inferior a 200 m en puentes y a 100 m en pasarelas.
- Luz efectiva (máxima distancia entre puntos de momento flector nulo bajo la acción del peso propio) menor que 30 veces el canto.
- Anchura del tablero superior a 1/10 de la distancia entre puntos de momento transversal nulo bajo la acción del viento transversal.

Aunque no se cumpla alguna de las tres condiciones anteriores, tampoco es necesario comprobar los efectos aeroelásticos en puentes o pasarelas en los que concurren las dos circunstancias siguientes:

- luz menor de 80 m, y
- frecuencia fundamental de flexión vertical mayor de 2 Hz.

AN.4.1.2 Criterios de comprobación

El estudio de los posibles efectos aeroelásticos debe contemplar al menos los efectos de divergencia torsional, desprendimiento de torbellinos, vibraciones divergentes por galope o flameo y por bataneo.

Las comprobaciones a realizar para cada uno de estos efectos son las siguientes:

- *Divergencia torsional*. La velocidad crítica de inestabilidad debe ser superior a dos veces la velocidad media de proyecto a la altura del tablero, $2 v_m(z)$.
- *Desprendimiento de torbellinos*. No se debe considerar este efecto si la velocidad crítica de desprendimiento de torbellinos es superior a 1,25 veces la velocidad media de proyecto a la altura del tablero, $1,25 v_m(z)$. Si no se cumple esta condición, es necesario determinar la amplitud máxima de las oscilaciones resultantes y comprobar que los desplazamientos, las aceleraciones y los esfuerzos no sobrepasan los valores permitidos en estado límite de servicio para la sobrecarga de uso. Además, es necesario comprobar la seguridad de la estructura frente a la fatiga producida por estas oscilaciones.
- *Vibraciones divergentes por galope*. La mínima velocidad crítica de inestabilidad debe ser superior a 1,25 veces la velocidad media de proyecto a la altura del tablero, $1,25 v_m(z)$.

- *Vibraciones divergentes por flameo.* La mínima velocidad crítica de inestabilidad debe ser superior a 1,25 veces la velocidad punta de proyecto a la altura del tablero, $1,25 v_c(z)$, siendo la velocidad punta:

$$v_c(z) = \sqrt{c_e(z)} v_b c_{\text{prob}}$$

- *Bataneo.* Se deben determinar los valores máximos de desplazamientos, aceleraciones y esfuerzos y comprobarse que no se sobrepasan los valores permitidos en estado límite de servicio para la sobrecarga de uso. Además, es necesario comprobar la seguridad de la estructura frente a la fatiga producida por estas oscilaciones.

La determinación de todos los valores citados anteriormente debe hacerse por cálculos numéricos suficientemente contrastados o ensayos en túnel de viento.

El ensayo en túnel de viento es en cualquier caso obligatorio en puentes de más de 200 m de luz y en pasarelas de más de 100 m de luz. También es preceptivo cuando, mediante los análisis efectuados, no se confirme la ausencia de efectos aeroelásticos de importancia. El proyectista debe definir el alcance de los ensayos en túnel de viento de forma que sirvan para verificar la seguridad y funcionalidad de la estructura. La utilización de métodos numéricos para modelizar el flujo de aire sólo es admisible si éstos se restringen a la obtención de conclusiones de tipo cualitativo o si se han contrastado o calibrado con ensayos en túnel de viento para la misma sección de tablero (salvo modificaciones de detalle) y en las condiciones de turbulencia correspondientes al proyecto.

La comprobación de los efectos aeroelásticos debe hacerse también para los estados de construcción del puente, siguiendo los mismos criterios expuestos en este apartado y teniendo en cuenta que la velocidad básica del viento, la configuración estructural (y, por tanto, las frecuencias) y el amortiguamiento pueden ser diferentes respecto al estado de puente terminado.

AN.4.1.3 Comprobaciones simplificadas

En el caso de puentes de menos de 200 m de luz y pasarelas de menos de 100 m de luz, las comprobaciones de los efectos aeroelásticos pueden efectuarse de forma simplificada según se recoge en este apartado. Estas fórmulas pueden aplicarse también al caso de arcos exentos durante las fases de construcción.

A los efectos únicamente de estas comprobaciones simplificadas, se pueden estimar las frecuencias de vibración por métodos aproximados indicados a continuación:

- Frecuencia fundamental de flexión:

$$f_B = 0,18 \sqrt{g/v}$$

donde

- v es la flecha máxima de la estructura [m] bajo la acción de la carga permanente actuando en la misma dirección y sentido que el modo de vibración esperado;
- g es la aceleración de la gravedad, igual a 9,8 m/s².

- Frecuencia fundamental de torsión:

$$f_T = 1 / \sqrt{32 \theta}$$

donde

θ es el giro máximo del tablero [rad] bajo la acción de un momento torsor uniformemente distribuido, igual al producto del momento de inercia másico polar por una aceleración angular de 1 rad/s² y aplicado en el sentido del giro de torsión del modo de vibración esperado.

a) *Divergencia torsional*

Se puede descartar que se producen fenómenos de divergencia torsional si se cumple la condición:

$$7,3 f_T r \sqrt{\frac{m}{\rho B^2}} \geq 2 v_m$$

donde

f_T es la frecuencia del primer modo de vibración de torsión del puente [Hz];

r es el radio de giro másico del tablero [m];

m es la masa unitaria del tablero [kg/m];

ρ es la masa específica del aire, que se tomará igual a 1,25 kg/m³;

B es la anchura del tablero [m];

v_m es la velocidad media del viento [m/s].

b) *Desprendimiento de torbellinos*

Si la primera frecuencia de flexión vertical medida en Hz es superior a $(7,5/h)$, en donde h es el canto de la sección en metros, se considera que el puente no va a estar sometido a vibraciones apreciables por desprendimiento de torbellinos y no será necesario realizar más comprobaciones relativas a este efecto.

En caso contrario, se debe calcular el número de Scruton:

$$S_c = \frac{2 \delta_s m}{\rho h^2}$$

y comprobarse que es superior a los dos valores siguientes:

$$S_c \geq 2\,600 \frac{B}{l}$$

$$S_c \geq 2\,100 \frac{f_B^2 B}{g}$$

donde

δ_s es el amortiguamiento logarítmico estructural, cuya relación con el índice de amortiguamiento ξ , expresado como porcentaje respecto del amortiguamiento crítico, es la siguiente:

$$\delta_s = \frac{2\pi}{100} \xi$$

m es la masa unitaria del tablero [kg/m];

ρ es la masa específica del aire, que se tomará igual a 1,25 kg/m³;

h es el canto de la sección [m];

B es la anchura del tablero [m];

l es el menor de los dos valores siguientes: luz del puente o distancia entre dos puntos consecutivos de momento flector nulo ante la acción del peso propio [m];

f_B es la frecuencia del primer modo de vibración de flexión vertical [Hz];

g es la aceleración de la gravedad, igual a 9,8 m/s².

Como valores medios del índice de amortiguamiento pueden adoptarse los que figuran en la tabla AN.1.

Tabla AN.1 – Valores orientativos del índice de amortiguamiento (en porcentaje)

Tipo de estructura	ξ [%]
Acero	0,4
Mixta	0,6
Hormigón pretensado	1,0
Hormigón armado	1,5

c) *Oscilaciones divergentes por galope y flameo*

– Se puede descartar el riesgo de oscilaciones divergentes en el plano vertical si se cumple la condición:

$$\frac{m \delta_s f_B}{\rho h} \geq 1,25 v_m$$

donde los parámetros m , δ_s , f_B , ρ y h los que se definen en el apartado AN4.1.3.

- Se puede descartar el riesgo de oscilaciones divergentes de torsión (flameo) si se cumple la condición:

$$5 f_T B \geq 1,25 v_c$$

donde

f_T es la frecuencia del primer modo de vibración de torsión del tablero [Hz];

B es la anchura del tablero [m].

- Se puede descartar el riesgo de oscilaciones divergentes acopladas de flexión y torsión (flameo clásico) si se cumple la condición:

$$1,8 f_T B \left[1 - 1,1 \left(\frac{f_B}{f_T} \right)^2 \right]^{1/2} \sqrt{\frac{m r}{\rho B^3}} \geq 1,25 v_c$$

con el significado de las variables definido en los puntos a) y b) del apartado AN.4.1.3.

d) Oscilaciones producidas por las ráfagas (bataneo)

Se pueden despreciar los efectos de estas oscilaciones cuando se cumpla la condición:

$$\frac{f_B L(z)}{v_m} \geq 3$$

donde

$L(z)$ es la longitud integral de la turbulencia [m], según el apartado B.1 de la Norma UNE-EN 1991-1-4.

f_B es la frecuencia del primer modo de vibración vertical del tablero [Hz];

v_m es la velocidad media del viento.

En caso de no cumplirse la condición anterior es necesario estudiar el efecto dinámico de las ráfagas en combinación con los efectos de su tamaño en relación con la longitud del puente sometida a la acción del viento.

AN.4.2 Cálculo simplificado del empuje en tableros y pilas

En puentes de menos de 40 m de luz (medida entre ejes de apoyos) y de menos de 20 m de altura máxima de pila, puede considerarse únicamente el viento transversal, con los valores de empuje unitario F_w / A_{ref} indicados en las tablas AN.2 y AN.3, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

$c_{f,x} \leq 1,8$ en tableros

$c_{f,x} \leq 2,2$ en pilas

$c_0 = 1,0$

$c_{prob} \leq 1,04$

Tabla AN.2 – Empujes unitarios en puentes con altura de pila $H_{m\acute{a}x.} \leq 10$ m

Tipo de entorno	Empuje sobre tablero [kN/m ²]			Empuje sobre pilas [kN/m ²]		
	$v_{b,0} = 26$ m/s	$v_{b,0} = 27$ m/s	$v_{b,0} = 29$ m/s	$v_{b,0} = 26$ m/s	$v_{b,0} = 27$ m/s	$v_{b,0} = 29$ m/s
0	2,58	2,78	3,21	3,16	3,40	3,93
I	2,29	2,47	2,85	2,79	3,01	3,47
II	1,94	2,09	2,41	2,37	2,56	2,95
III	1,47	1,58	1,83	1,80	1,94	2,23
IV	0,93	1,00	1,15	1,14	1,23	1,42

Tabla AN.3 – Empujes unitarios en puentes con altura de pila $H_{m\acute{a}x.} = 20$ m

Tipo de entorno	Empuje sobre tablero [kN/m ²]			Empuje sobre pilas [kN/m ²]		
	$v_{b,0} = 26$ m/s	$v_{b,0} = 27$ m/s	$v_{b,0} = 29$ m/s	$v_{b,0} = 26$ m/s	$v_{b,0} = 27$ m/s	$v_{b,0} = 29$ m/s
0	2,93	3,16	3,65	3,58	3,86	4,45
I	2,64	2,85	3,29	3,23	3,48	4,02
II	2,31	2,49	2,88	2,83	3,05	3,52
III	1,88	2,03	2,34	2,29	2,47	2,85
IV	1,30	1,40	1,62	1,60	1,72	1,99

Para alturas de tableros y pilas comprendidas entre 10 m y 20 m, se puede interpolar linealmente entre las dos tablas anteriores.

En la elaboración de las tablas anteriores no se ha considerado la acción del viento sobre la sobrecarga de uso. Para tener en cuenta este efecto, se deben seguir los criterios indicados en el punto (5) del apartado 8.3.1 de la Norma UNE-EN 1991-1-4 respecto al aumento del área expuesta.