

# El viento en el CTE 20 meses después

DP Cype Ingenieros

Desde la aparición del Código Técnico de la Edificación, el viento ha sido uno de los elementos que más polémica ha suscitado, debido al importante aumento de los valores de carga a aplicar en comparación con la NBE-AE-88 y la NTE. Además, en el planteamiento expuesto por el CTE, existían numerosas discrepancias que se esperaba que fueran rectificadas en la

tan esperada "fe de erratas". En el caso de la acción de viento, dicha fe de erratas, publicada en el BOE de 23 de octubre de 2007, no ha solventado la polémica generada, sino que se ha limitado a una revisión formal que consideramos insuficiente en el caso del viento. En el presente artículo nos hemos limitado a repasar la obtención del valor de presión estática para edificios.

**P**resión estática. Factores: La expresión planteada por el CTE para el cálculo de la acción de viento es la de la fórmula

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

(siendo:  $q_b$  Presión dinámica del viento;  $c_e$  Coeficiente de exposición;  $c_p$  Coeficiente eólico).

A continuación, revisaremos las discrepancias planteadas en la obtención de estos tres coeficientes, y en qué afecta la revisión publicada en BOE de 23 de octubre de 2007.

**Presión dinámica. Velocidad Básica:** El cálculo de la presión dinámica del viento, según el CTE, se realiza utilizando la ecuación de Bernoulli a una línea de corriente

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

(siendo  $\rho$  Densidad del aire;  $v_b$  Velocidad básica de viento).

En referencia al cálculo de la presión básica, aparece necesariamente la velocidad básica, y para su definición acudimos al CTE y a la parte 1-4 del Eurocódigo 1.

Según el CTE, "El valor básico de la velocidad del viento corresponde al valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un período de 10 minutos, tomada en una zona plana y desprotegida frente al viento (Grado de aspereza del entorno II según tabla D.2) a una altura de 10 m sobre el suelo. El valor característico de la velocidad del viento mencionada queda definido como aquel valor cuya probabilidad anual de ser sobrepasado es de 0,02 (período de retorno de 50 años)."

La definición según el Eurocódigo es prácticamente idéntica, coincidiendo en la definición de todos los parámetros, pero no debemos dejar de lado un pequeño detalle, y es la definición de grado de aspereza según las dos normativas, cuestión que se puede observar las tablas 1 y 2.

A partir de estas dos tablas, podemos establecer los siguientes comentarios. Aunque la descripción de las categorías del terreno y la definición de los pará-

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,15	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Tabla 1 – Grado de aspereza según CTE (marzo 2006)

Terrain category	$Z_0$ m	$Z_{min}$ m
0 Sea or coastal area exposed to the open sea	0,003	1
I Lakes or flat and horizontal area with negligible vegetation and without obstacles	0,01	1
II Area with low vegetation such as grass and isolated obstacles (trees, buildings) with separations of at least 20 obstacle heights	0,05	2
III Area with regular cover of vegetation or buildings or with isolated obstacles with separations of maximum 20 obstacle heights (such as villages, suburban terrain, permanent forest)	0,3	5
IV Area in which at least 15 % of the surface is covered with buildings and their average height exceeds 15 m	1,0	10

Tabla 2 – Categoría del terreno según prEN 1991-1-4-6:2002(E)

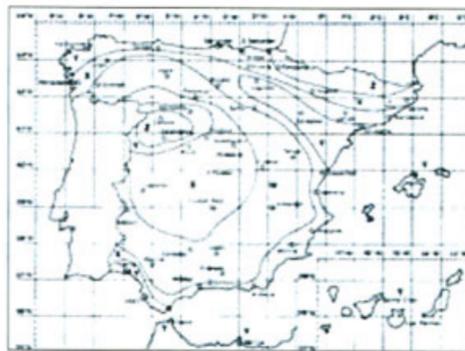


Figura 1 – Mapa eólico según NTE

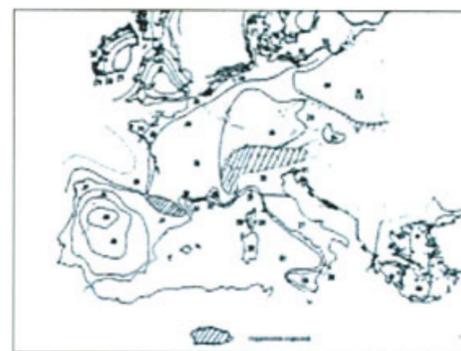


Figura 2 – Mapa eólico según prEN 1991-1-4-6:2002(E)



Figura 3 – Mapa eólico según CTE

metros L y Z del CTE con  $z_0$  y  $z_{min}$  del Eurocódigo son prácticamente idénticas, el CTE plantea una redefinición formal de los grados de aspereza. Así, podemos establecer las siguientes equivalencias:

La categoría 0 y I de Eurocódigo pasan a ser la categoría I de CTE, con los parámetros del grado 0 del Eurocódigo, convirtiéndose así en el más desfavorable de los dos grados de aspereza. ¿Por qué?

Las categorías II y III de Eurocódigo pasan a ser la categoría II y III de CTE, pero con los parámetros de los grados de aspereza I y II del Eurocódigo, lo que significa que son un grado de aspereza más desfavorable. ¿Por qué?

La categoría IV del Eurocódigo se desdobra en las categorías IV y V del CTE, de forma que las zonas urbanas en general, según el CTE tienen un grado de aspereza igual al que el Eurocódigo le atribuye a pueblos, zonas suburbanas y bosques permanentes. De esta forma, la mayoría de las capitales de provincia españolas salen perjudicadas con la asignación de un grado de aspereza más desfavorable, cuestión que quedaba totalmente resuelta en la definición de Eurocódigo.

Esta observación, nos lleva a plantear la primera discrepancia: *La definición de velocidad básica.*

**¿Debería definirse en el CTE la velocidad básica en función del grado de aspereza III?**

Si atendemos a la discrepancia planteada, y a nuestro entender, la respuesta es sí. El Eurocódigo indica que la medida de la velocidad básica se debe realizar en grado de aspereza II, lo que implica grado de aspereza III en Código Técnico. Toda la formulación y parámetros de los coeficientes de presión están calibrados para adecuar un valor básico a un grado en concreto, y si se conservan, debería conservarse el origen de la escala. Esta afirmación implicaría la necesidad de revisión de la velocidad básica por parte del CTE, al haber proporcionado unos valores de las velocidades básicas superiores en 2 m/s (aprox.) a los que se obtendrían con el Eurocódigo.

Por otra parte, se pone en tela de juicio el que el Código Técnico haya realizado una calibración estadística a la hora de establecer los diferentes parámetros y

(sigue en la página 108)

(viene de la página 106)

variables básicas.

Esta duda razonable, planteada en la obtención de la velocidad básica, nos lleva a la segunda discrepancia que ha creado la aparición del CTE: El mapa eólico. Para poder observar la diversidad de interpretaciones que se han dado a este mapa, se presentan los mapas eólicos presentes en la NTE, Eurocódigo, y CTE.

La crítica en referencia al mapa eólico del CTE se hace, por una parte debido a la no adecuación a la orografía española, cuestión que sí se refleja en la NTE y el Eurocódigo, y por otra parte debido al ya comentado tema de la velocidad básica.

¿Ha sido revisado alguno de estos temas en la publicación del 23 de octubre de 2007?

La respuesta es no.

**Coefficiente de exposición**

El coeficiente de exposición es un factor que se aplica para tener en cuenta la fuerza estática de viento según la altura del punto considerado.

El CTE reelabora de forma ligera la obtención de dicho coeficiente según Eurocódigo, introduciendo una tercera discrepancia, que como veremos a continuación, es en realidad, un valor que es inconsistente dentro del propio CTE sin necesidad de efectuar la comparación.

Según el CTE, el cálculo del coeficiente de exposición se efectúa de la siguiente manera

$$c_e = F + F + 7k$$

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z) / L)$$

(siendo k, L, Z parámetros característicos del entorno según la tabla 4. La aplicación de estas fórmulas, lleva a los resultados de las gráficas 1 y 2).

Vemos que existe una clara inconsistencia en la obtención del coeficiente de exposición según CTE, marcada por la intersección entre los grados de aspereza I y II; sin embargo, esta intersección no se produce en el Eurocódigo como podemos apreciar en la siguiente gráfica.

Ya se había analizado la coincidencia de los parámetros L y Z con sus respectivos z0 y zmin en Eurocódigo. Por su parte, el parámetro k tabulado en el CTE se calcula en Eurocódigo según la expresión

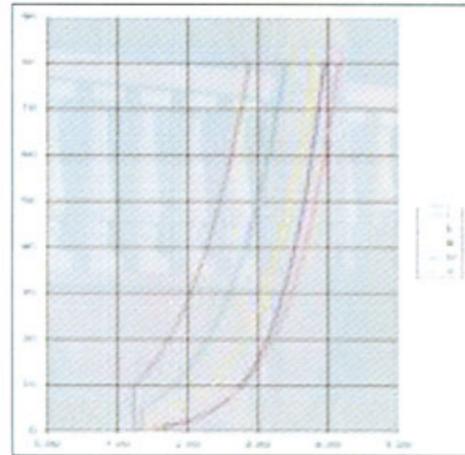
$$k_e = 0.19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07}$$

(siendo: z0,II = 0,05 m (terreno de categoría II según Eurocódigo, equivalente a III según CTE); z0 Equivalente al parámetro L (Longitud de grado de aspereza según CTE)).

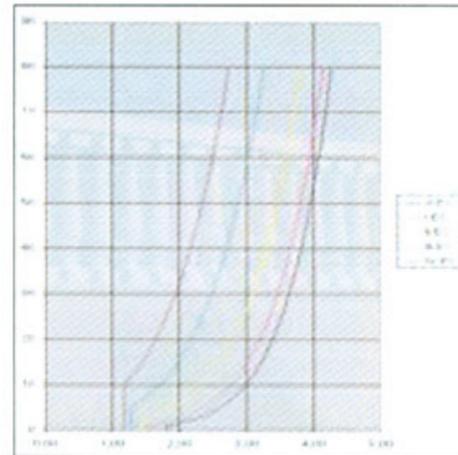
En la tabla 5, se compara la obtención de este parámetro en las dos normas.

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0.15	0.003	1.0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0.17	0.01	1.0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0.19	0.05	2.0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0.22	0.3	5.0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0.24	1.0	10.0

Tabla 4 - Parámetros para cálculo de c<sub>e</sub> según CTE



Gráfica 1 - Coeficiente de exposición según CTE



Gráfica 2 - Coeficiente de exposición según EC-1

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.3	3.5
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2.1	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.3	3.5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1.6	2.0	2.3	2.5	2.6	2.7	2.9	3.1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1.3	1.4	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1.2	1.2	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2.0

Tabla 6 - Coeficiente de exposición simplificado según CTE

		Altura del punto considerado (m)									
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Grado de aspereza del entorno	I	2.3	2.7	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6
	II	2.1	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
	III	1.6	2.0	2.3	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1
	IV	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
	V	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9

Tabla 7 - Coeficiente de exposición simplificado recalculado con parámetro k de Eurocódigo

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	≥ 5.00
Coefficiente eólico de presión, c <sub>p</sub>	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.6
Coefficiente eólico de succión, c <sub>s</sub>	-0.3	-0.4	-0.4	-0.5	0.6	0.7

Tabla 8 - Coeficiente eólico en edificios de pisos

(°)	z <sub>0</sub>	k <sub>EC-1</sub>	k <sub>CTE</sub>
0	0.003	0.156	0.150
I	0.01	0.170	0.170
II	0.05	0.190	0.190
III	0.30	0.215	0.220
IV	1.00	0.234	0.240

Tabla 5 - Parámetro k. (\*) Clasificación de grado de aspereza según Eurocódigo

Como se puede ver, existe una discrepancia en la precisión presentada en este parámetro, y debido a ésta, se produce el cruzamiento de las líneas planteado.

Además, si revisamos la tabla 6 simplificada para obtención del coeficiente de exposición hasta 30 metros propor-

cionada por el CTE, podemos observar que los grados de aspereza I y II (clasificación CTE), coinciden a partir de 6 metros.

Si recalculamos esta tabla, con salida de datos ajustada a un decimal, obtenemos los datos de la tabla 7. Como se puede ver, se elimina el problema de cruzamiento de valores planteado por la formulación, y solucionado con alevisía en la tabla 6 del presente artículo.

¿Ha sido revisado alguno de estos temas en la publicación del 23 de octubre de 2007?

La respuesta es no.

**Coefficiente eólico**

El coeficiente eólico para pisos se presenta

en la versión de 2006 de CTE en la tabla8, donde se puede ver un pequeño error para coeficientes de succión que sí ha sido revisado en la publicación del 23 de octubre de 2007.

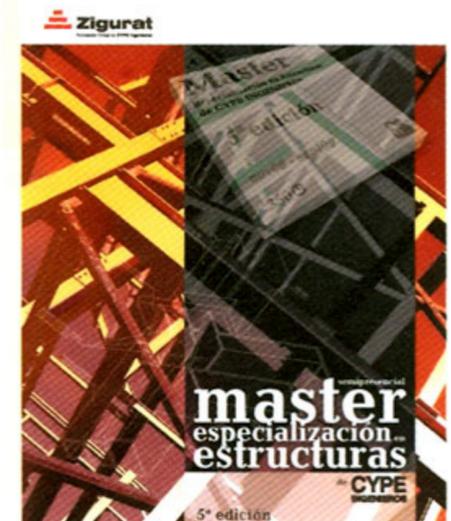
Además, pero fuera del alcance del presente artículo, el CTE ha dejado sin revisión una serie de discrepancias planteadas para estructuras diáfanas en la tabulación del coeficiente de presión interior, y ha resuelto en la publicación del 23 de octubre de 2007 los errores presentes en las tablas del anejo D de la siguiente forma: "6 Se permite el empleo de las tablas de coeficientes de presión de la norma EN 1991-1-4, tanto para las formas canónicas no incluidas en este Documento Básico como para los coeficientes globales de fuerza de las que sí están incluidas."

**¿Por qué no se deciden a extender este comentario al Eurocódigo al completo?**

Parece razonable que se evite un esfuerzo innecesario en la "adaptación completa" de los Eurocódigos, que como se ha podido comprobar en este tema, no ha pasado el filtro necesario. Quizás sería más razonable realizar la inversión en calcular datos, como la velocidad básica de viento y realizar un mapa eólico "definitivo", que son temas en los que el Eurocódigo descarga su responsabilidad a los Documentos Nacionales de Aplicación.

■ Marque el nº 1 en la última página

**Master Especialización en estructuras**



e-zigurat.com

Portada del Master de estructuras de Cype Ingenieros

\*Este artículo forma parte del temario del Máster que organiza Cype Ingenieros en 2008:

- Fechas inicio/final: 9 nov2008 - 27 sep2009
- Proyecto Final Máster: hasta 30 de septiembre de 2009
- Precio: 3.250 €
- 350 horas