

INTRODUCCIÓN DE LA VARIABLE TIEMPO EN LA EVALUACIÓN DE ACCIONES PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICACIÓN.

¹ Cabrera Sáiz T.*

² De las Heras Fernández M.

¹ Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Dpto.5420.

² Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Dpto. 5405.

Avda. Juan de Herrera nº 6. 28040 Madrid

tomas.cabrera@upm.es

RESUMEN

Desde la publicación en 2006 del Código Técnico de la Edificación (CTE), para los Estados Límite Últimos (ELU), la seguridad en la evaluación de las acciones que actúan sobre las estructuras de edificación se debe realizar siguiendo las directrices marcadas por los Eurocódigos Estructurales.

La idea de que un edificio y consecuentemente su estructura es para toda la vida, es decir sin límite temporal, ha dejado de ser un referente. CTE establece que la vida útil de una estructura, normal, de edificación CTE es de 50 años. Añadiendo la referencia de que si la vida útil difiere de este valor, estándar, se indique el oportuno en las bases de cálculo.

En general la seguridad en las acciones que actúan sobre una estructura se logra, multiplicando sus valores representativos por unos coeficientes de seguridad pactados.

Las situaciones de cálculo contempladas por CTE son tres: 1/ Situaciones permanentes o transitorias. 2/ Situaciones accidentales y 3/ Situaciones sísmicas.

Sobre las dos últimas se ha escrito profusamente, pero en cambio de la primera sólo existe, hasta el momento, una distinción a nivel semántico.

En efecto llegado el momento de evaluar las acciones sobre una estructura de edificación, CTE no introduce la variable tiempo en la vida útil estructural. Por ello no llega a distinguir, a nivel de cálculo, las situaciones permanentes de las transitorias.

Si se introduce la variable tiempo en estructurales provisionales, como por ejemplo en un andamio, un apeo o un apuntalamiento (vida útil ≤ 10 años), parece evidente que puedan utilizarse valores distintos en las acciones que los utilizados para un edificio normal (50 años) o un edificio monumental (100 años).

El presente estudio profundiza en los valores las acciones que actúan sobre una estructura conforme a la vida útil para la que se proyecta, especialmente cuando su vida útil es menor de 50 años como sucede, frecuentemente, en el campo de la rehabilitación y todo ello sin merma de la seguridad pactada.

La metodología de este trabajo sigue las directrices y formulaciones dadas en los Eurocódigos Estructurales y no incorporados, hasta el momento, en CTE.

1.- La vida útil de una estructura de edificación en CTE.

El Código Técnico de la Edificación [1], establece en 50 años la duración útil estándar, es decir, el periodo de servicio normal de una estructura de edificación. También indica que si el periodo de servicio previsto para un proyecto difiere de éste

valor de 50 años, se indicará su duración prevista en las bases de cálculo y en su caso, en el correspondiente anejo de cálculo.

El documento contenido en el Eurocódigo UNE EN-1990. Bases de cálculo de estructuras [2] establece la duración correspondiente a cada tipo estructural de referencia, tal como se indica en la siguiente tabla:

Vida útil de cálculo indicativa		
Categoría de vida útil de cálculo	Vida útil de cálculo indicativa	Ejemplos
1	10	Estructuras temporales (1)
2	10 a 50	Partes de estructuras reemplazables, por ejemplo: vigas de rodadura, aparatos de apoyo
3	15 a 30	Estructuras agrícolas y similares
4	50	Estructuras de edificios y otras estructuras comunes
5	100	Estructuras de edificios monumentales, puentes y otras estructuras de ingeniería civil.
(1) Estructuras o partes de estructuras que puedan desmontarse con la intención de volver a usarse no deberían considerarse como estructuras temporales.		

(Tabla 1 “Vida útil de las estructuras según Eurocódigo EN-1990”)

Parece, entonces, que no se deben utilizar los mismos valores de cálculo en la evaluación de las acciones para una estructura provisional como un apeo o apuntalamiento (vida útil ≤ 10 años), que para un edificio normal (50 años) o para un puente o edificio monumental (100 años).

1.1- Combinación de las acciones.

Para Estados Límite Último (ELU) el CTE establece la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_P * P + \gamma_{Q,1} * Q_{K,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (1)$$

Donde:

$\gamma_{G,j}$ es el coeficiente de seguridad para las acciones permanentes, γ_P el coeficiente de seguridad para la acción del pretensado, si existe, $\gamma_{Q,1}$ el coeficiente de seguridad para la acción variable determinante y $\gamma_{Q,i}$ el coeficiente de seguridad para las acciones variables concomitantes (de acompañamiento a la determinante).

G_k es el valor característico de cada acción permanente, P el valor característico de la acción del pretensado, Q_k el valor característico de cada acción variable y $\psi_{0,i}$ los coeficientes de combinación (simultaneidad) para las acciones variables concomitantes (todos definidos adecuadamente en CTE).

Cuando la duración de una estructura difiere del valor estándar fijado en 50 años, cabe actuar de manera unitaria siguiendo una de estas opciones:

- 1/ Definir distintos coeficientes de seguridad γ según la vida útil estructural.
- 2/ Definir distintos coeficientes de combinación $\psi_{0,i}$ según la vida útil.
- 3/ Distinguir distintos valores característicos de las acciones según la vida útil.

El Eurocódigo se define por la última y por ello se convierte en guía de este estudio.

1.2.- Documentación de apoyo.

El Eurocódigo proporciona los principios generales y las orientaciones para la aplicación de los métodos probabilísticos en los cálculos estructurales. EN-1990 y en las normas internacionales ISO 2394 [3] e ISO 13822 [4], se indican unas bases teóricas para la utilización del método de los coeficientes parciales y unos procedimientos para la determinación de los coeficientes parciales de las distintas acciones utilizando medios probabilísticos.

1.3.- Principios generales.

Los métodos probabilísticos básicos se emplean para analizar principios de diferenciación de la fiabilidad. Se distinguen esencialmente dos casos:

1/ La vida de uso calculada T_d es breve en comparación con la vida útil estándar (por ejemplo, 5 ó 10 años); éste es el caso de estructuras temporales o auxiliares y de las estructuras bajo una situación de cálculo transitoria (durante su levantamiento o reparación) en la que puede ser necesario proyectar y calcular estructuras de apeo, apuntalamiento o acodalamiento).

2/ Se considera un periodo alternativo de referencia T_a (por ejemplo 100 años), que resulta diferente de la vida de uso estándar $T_d = 50$ años. Este caso es aplicable cuando modelos de probabilidad asociados al periodo T_a son más creíbles que los asociados a T_d .

2.- El Eurocódigo y los métodos de fiabilidad.

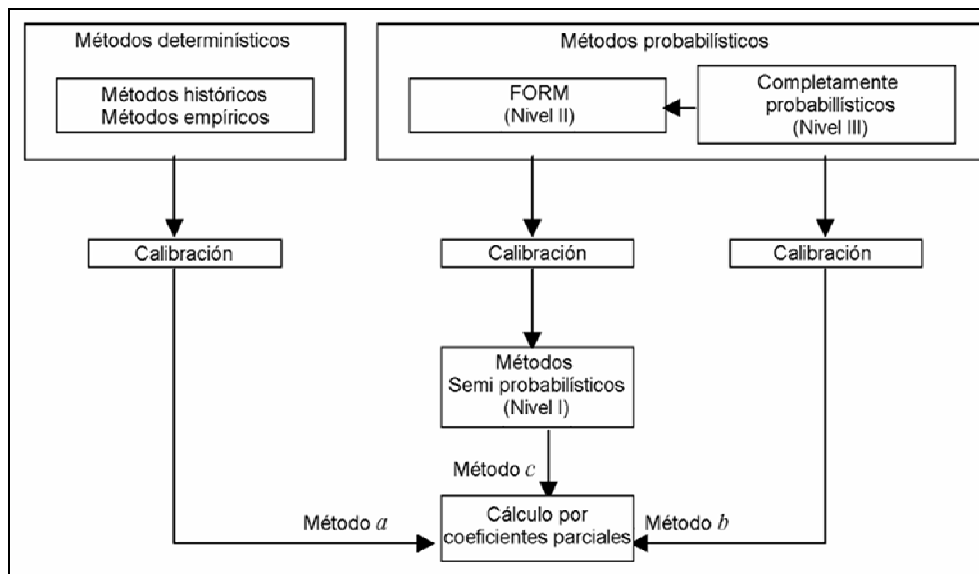
En el método de los coeficientes parciales, se dan valores de cálculo a las variables básicas, es decir, acciones, resistencias, y propiedades geométricas. Mediante el uso de coeficientes de seguridad parciales γ y de unos coeficientes de simultaneidad ψ se efectúa una comprobación para asegurarse que no se ha superado ningún estado límite pertinente.

Como principio los valores numéricos de los coeficientes parciales γ y de los coeficientes ψ pueden determinarse por uno cualquiera de estos dos métodos:

Método “a”. Sobre la base de calibración a una larga experiencia de tradición en la edificación. Para la mayoría de los coeficientes parciales y de los coeficientes ψ propuestos en los Eurocódigos, hasta la fecha, este es el principio predominante.

Método “b”. Sobre la base de evolución estadística de datos experimentales y observaciones de campo. Esto debe llevarse a cabo dentro del marco de una teoría probabilística de la fiabilidad.

Cuando se emplee el método “b”, bien individualmente o bien en combinación con el método “a”, se deberían calibrar los coeficientes parciales de los estados límite últimos para las distintas acciones de forma que los niveles de fiabilidad de las estructuras estén lo más próximos posible al índice de fiabilidad deseado.



(Figura 1 “Métodos de fiabilidad según EN-1990”)

El método “c” (fig. 1) ha sido empleado en el desarrollo posterior de los Eurocódigos.

2.1.- Calibración de los coeficientes parciales de seguridad.

En el cálculo de estructuras y para los distintos estados límites se identifican tres niveles a los que se refieren la seguridad de las estructuras, estos niveles son:

-Nivel I: Métodos semiprobabilísticos. Los aspectos probabilísticos se cubren mediante la definición, en un código estructural, de los valores característicos de las acciones y también de las resistencias de los materiales.

Los métodos probabilísticos de calibración de los coeficientes parciales pueden subdividirse en dos clases de métodos principales:

-Nivel II: Métodos de fiabilidad de primer orden denominados FORM (en español conocidos por MFPO, métodos de fiabilidad de primer orden). Estos métodos hacen uso de ciertas aproximaciones bien definidas y conducen a resultados que en la mayoría de aplicaciones estructurales pueden considerarse como suficientemente precisos.

- Nivel III. Métodos totalmente probabilísticos (cálculo probabilístico exacto). Estos métodos dan, en principio, respuestas correctas a los problemas planteados de fiabilidad. Los métodos de nivel III se usan poco en la calibración de los códigos de cálculo debido a la importante escasez de datos estadísticos fiables.

Tanto en los métodos de nivel II como en los de nivel III la medida de la fiabilidad debería identificarse con la probabilidad de supervivencia: $P_s = (1 - P_f)$, en la que P_f es la probabilidad de fallo en el estado límite considerado y dentro de un periodo de referencia apropiado.

Si la probabilidad de fallo calculada es mayor que un valor objetivo preestablecido entonces la estructura debe considerarse como insegura.

2.2.- El índice de fiabilidad β .

En los procedimientos de nivel II se define convencionalmente una medida alternativa de la fiabilidad mediante el índice de fiabilidad " β ". EN-1990 proporciona los siguientes datos para este índice y su relación con la probabilidad de fallo.

Relación entre β y P_f							
P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

(Tabla 2 "Relación entre la probabilidad de fallo y el índice de fiabilidad, EN-1990")

La fórmula que los relaciona es:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (2)$$

Donde Φ es la función de distribución acumulada de la función de probabilidad normal estándar (valor medio: $\mu = 0$ y desviación típica: $\sigma = 1$). β es el denominado índice de fiabilidad, definido para una distribución normal como:

$$\beta = \frac{\mu}{\sigma} \quad (3)$$

Los datos estadísticos alcanzan mayor interés si se relacionan conjuntamente con los índices objetivos de fiabilidad para elementos estructurales y con el tiempo de vida útil de una estructura.

2.3.- Valores objetivo del índice de fiabilidad β .

Los valores objetivo del índice de fiabilidad β para las distintas situaciones de proyecto, y para los periodos de referencia de 1 año y 50 años, se presentan en la tabla siguiente (tomada del Eurocódigo EN-1990) y corresponde a niveles de seguridad para elementos estructurales de la clase de fiabilidad denominada RC2.

Índices objetivo de fiabilidad β para elementos estructurales ¹⁾ de clase RC2		
Estado límite	Índice objetivo de fiabilidad	
	1 año	50 años
último	4,7	3,8
de fatiga	–	1,5 a 3,8 ²⁾
de servicio (irreversible)	2,9	1,5

1) Véase el anexo B.
2) Depende del grado de aptitud a la inspección, a la reparación y de la tolerancia a los daños.

(Tabla 3 "Índice objetivo de fiabilidad β para elementos estructurales RC2 en ELU")

En la siguiente tabla se aclara la división de estructuras en las tres clases de fiabilidad: RC3, RC2 y RC1 (del inglés reliability classes) en función de las tres clases de consecuencias (del inglés consequences classes).

Clases de fiabilidad	Consecuencias en pérdida de vidas humanas, económicas, sociales y medio ambientales	Valores mínimos del Índice de fiabilidad β		Ejemplos de edificios y obras de ingeniería civil
		β para $T=1$ año	β para $T=50$ años	
Alta (RC3)	Graves (CC3)	5,2	4,3	Estadios, puentes, edificios públicos con aglomeraciones.
Media (RC2)	Moderadas (CC2)	4,7	3,8	Edificios residenciales y de oficinas, edificios públicos.
Baja (RC1)	Leves (CC1)	4,2	3,3	Edificios agrícolas, almacenes, invernaderos

(Tabla 4 “Clasificación estructural por nivel de fiabilidad, EN-1990”)

Ahora para ELU, se puede completar la (Tabla 2) con objeto de relacionar mejor la vida útil de una estructura con el índice objetivo de fiabilidad. En la tabla siguiente se dan los valores para: 1, 5, 10, 25, y 50 años.

P_f	$1,4 * 10^{-6}$	$7,2 * 10^{-6}$	$1,4 * 10^{-5}$	$3,6 * 10^{-5}$	$7,2 * 10^{-5}$	$1,4 * 10^{-4}$
β	4,7	4,3	4,2	4,0	3,8	3,6
Años	1	5	10	25	50	100

(Tabla 5 “Probabilidad de fallo, índice de fiabilidad y vida útil para el riesgo RC2”)

3.- Calibración de los valores característicos de cálculo de las acciones.

EN-1990 (Anexo C.7 Aproximación a la calibración de los valores de cálculo), indica las funciones de distribución recomendadas para modificar el valor característico de una acción definido en un determinado código, por ejemplo en CTE.

Tabla C.3 Valores de cálculo para varias funciones de distribución	
Distribución	Valores de cálculo
Normal	$\mu - \alpha\beta\sigma$
Log-normal	$\mu \exp(-\alpha\beta V)$ para $V = \sigma/\mu < 0,2$
Gumbel	$u - \frac{1}{a} \ln \{- \ln \Phi(-\alpha\beta)\}$ <p>donde $u = \mu - \frac{0,577}{a}$; $a = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$</p>

(Tabla 6 “Valores de cálculo para varias funciones de distribución”)

En la tabla anterior: μ , σ y V son respectivamente, el valor medio, la desviación típica y el coeficiente de variación de una variable dada. Para acciones variables, éstas se deberían basar en el mismo periodo de referencia que para β .

Los valores de los efectos de las acciones de cálculo E_d y de las resistencias de cálculo R_d deben definirse de forma que la probabilidad “ P ” de tener un valor más desfavorable sea como se indica a continuación:

$$P(E > E_d) = \phi(+\alpha_E \beta) \quad (4 \text{ a})$$

$$P(R \leq R_d) = \phi(-\alpha_R \beta) \quad (4 \text{ b})$$

Donde: β es el índice de fiabilidad, α_E y α_R con $|\alpha| \leq 1$, son los valores de los coeficientes de sensibilidad FORM. El valor de α es negativo para las acciones y efectos de las acciones desfavorables, y positivo para las resistencias.

α_E y α_R pueden tomarse como -0,7 y 0,8 respectivamente, siempre que:

$$0,16 < \frac{\sigma_E}{\sigma_R} < 7,6 \quad (5)$$

En donde σ_E y σ_R son las desviaciones estándar del efecto de las acciones y de la resistencia, respectivamente. En las expresiones (4 a y 4 b) esto da:

$$P(E > E_d) = \phi(-0,7 \beta) \quad (6 \text{ a})$$

$$P(R \leq R_d) = \phi(-0,8 \beta) \quad (6 \text{ b})$$

Cuando no se satisface la condición (ec. 5), debería usarse $\alpha = \pm 1,0$ con la variable con la mayor desviación estándar y $\alpha = \pm 0,4$ con la variable con menor desviación estándar.

Cuando el modelo de acción contenga varias variables fundamentales, se debería emplear la expresión (ec. 6 a) con la variable predominante. Para las acciones de acompañamiento, los valores de cálculo pueden definirse por:

$$P(E > E_d) = \phi(-0,4 * 0,7 * \beta) = \phi(-0,28 \beta) \quad (7)$$

Con $\beta = 3,8$ los valores definidos por la última expresión corresponden aproximadamente al fractil 0,90.

Las expresiones que se dan en el Anexo C de EN-1990, ver (Tabla 6) deberían utilizarse para deducir los valores de cálculo de las variables con la distribución de probabilidad dada.

3.1.- Calibración de los valores característicos en las acciones permanentes.

Consideramos una acción permanente por ejemplo un peso propio G que sigue una distribución normal. Para este caso EN-1990 indica la fórmula (Tabla 6):

$$\mu - \alpha * \beta * \sigma \quad (8)$$

Cuando se emplea en la verificación de la fiabilidad de una estructura un periodo de referencia alternativo T_a en vez de la vida útil estipulada T_d , entonces el valor de cálculo G debe determinarse mediante T_a en lugar de T_d . El valor característico G_k de G se define, para una acción permanente, como su valor medio μ_G (según CTE, ISO-2394 y EN -1990):

$$G_k = \mu_G \quad (9)$$

El valor de cálculo G_d viene dado por la expresión:

$$G_d = \mu_G - \alpha_G \times \beta \times \sigma_G = \mu_G - (-0,7) \times \beta \times \sigma_G = \mu_G (1 + 0,7 \times \beta \times V_G) \quad (10)$$

μ_G es la media. σ_G la desviación típica.

V_G el coeficiente de variación (en estadística, el coeficiente de variación o de Pearson se define como el cociente entre la desviación típica y el valor absoluto de la media aritmética $V = \frac{\sigma}{|\mu|}$

físicamente representa el número de veces que la desviación típica contiene a la media aritmética y por lo tanto cuanto mayor es V , mayor es la dispersión y menor la representatividad de la media).

$\alpha_G = -0,7$ es el coeficiente de sensibilidad de G en el método FORM.

El coeficiente parcial de seguridad de G se define, EN-1990 e ISO-2394, como:

$$\gamma_G = \frac{G_d}{G_k} \quad (11)$$

Tomando las expresiones (ec.9), (ec. 10) y (ec. 11) se obtiene:

$$\gamma_G = (1 + 0,7 \times \beta \times V_G) \quad (12)$$

Con un índice de fiabilidad $\beta = 3,8$ y si el coeficiente de variación se toma, como es usual para acciones permanentes, $V_G = 0,1$, entonces tenemos:

$$\gamma_G = (1 + 0,7 \times 3,8 \times 0,1) = 1,266 \quad (13)$$

EN-1990 incrementa la seguridad en, aproximadamente, un 5% para considerar la posible incertidumbre sobre el modelo, tendremos ahora:

$$\gamma_G = 1,05 * (1 + 0,7 \times 3,8 \times 0,1) = 1,05 * 1,266 = 1,33 \approx 1,35 \quad (14)$$

Que es el valor recomendado en EN-1990 y CTE (el valor igual a 1,33 era el coeficiente de seguridad en las acciones que se utilizaba en las estructuras de acero laminado, de la derogada NBE-*EA* 95, cuando se tenía en cuenta en el calculo estructural: las acciones permanentes, la sobrecarga de uso y las acciones climáticas del viento y la nieve).

$$\text{Para } \beta = 4,2 \text{ (vida útil =10 años): } \gamma_G = 1,05 * (1 + 0,7 \times 4,2 \times 0,1) = 1,36 \quad (15)$$

Para acciones permanentes se comprueba que, contrariamente a la idea inicial, se debe incrementar ligeramente la seguridad en estructuras temporales.

3.2.- Coeficientes parciales para las acciones climáticas.

Los documentos europeos referentes a las acciones climáticas debidas a la acción de la nieve, el viento y la temperatura, indican posibles reducciones de los valores característicos Q_k de estas acciones climáticas para el caso de un periodo de referencia (retorno) más breve (por ejemplo 10 años) que el estándar de 50 años estipulado para los casos normales:

Tal reducción puede aplicarse en situaciones de cálculo transitorias, por ejemplo en el caso de las estructuras provisionales de apeo, apuntalamiento o acodalamiento.

Para las acciones climáticas ocasionadas por nieve, el viento y la temperatura, el Eurocódigo EN 1991 recomienda, respectivamente, las expresiones que se indican en los siguientes apartados:

3.2.1- Acción climática de la nieve.

De conformidad con EN 1991-1-3 Cargas de nieve [5], en el Anexo D (informativo) indica que el valor característico de la acción de la nieve $s_{k,n}$ para un periodo de retorno de “n” años viene dado, para una distribución de Gumbel, por la expresión

$$s_n = X * s_k, \text{ donde: } X = \frac{1 - V \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0,57722]}{1 + 2,5923V} \quad (16)$$

s_k , es el valor característico de la nieve a nivel de terreno considerando un periodo de retorno de 50 años.

s_{n} , es el valor de la carga de nieve para un periodo de retorno de “n” años.

P_n es la probabilidad de excedencia anual. Equivale aproximadamente a $1/n$, donde n es el correspondiente periodo de retorno en años. Por ejemplo para $n = 50$ años, entonces $1/n = 0,02$ y en consecuencia: $P_n = 0,02$.

V , es el coeficiente de variación para la carga máxima anual de la nieve. (Se ha tomado $V = 0,2$ para los ejemplos de comparación de la Tabla 7).

Notas EN-1991-1-3:

a/ La Autoridad Nacional competente, puede definir otra función de distribución diferente para el ajuste del periodo de retorno, donde lo considera apropiado.

b/ La Autoridad Nacional competente puede proporcionar información referente al coeficiente de variación.

3.2.2- Acción climática del viento.

De conformidad con el documento EN 1991-1-4 Acciones de viento [6], en el capítulo 4º, indica que la velocidad del viento básica $v_{b,n}$ para un periodo de retorno de “n” años [no confundir con el superíndice n de la fórmula (17)] puede determinarse utilizando la formulación:

$$v_{b,n} = X * v_{b,50}, \quad \text{donde } X = \left[\frac{1 - K \ln(-\ln(1-p))}{1 - K \ln(-\ln(0,98))} \right]^n \quad (17)$$

$v_{b,50}$ es la velocidad básica del viento para un periodo de retorno de 50 años. (Velocidad media de viento durante 10 min. con una probabilidad anual de ser excedido de 0,02, es decir $p = 0,02 = P_n$ en tabla 7); independientemente de su dirección, medida a una altura de 10 m sobre un terreno plano abierto).

$v_{b,n}$ para un periodo de retorno de “n” años, p es la probabilidad de que $v_{b,n}$ sea sobrepasada para ese periodo de retorno de “n” años.

La constante K en la ecuación se deduce de la distribución de Gumbel determinándose como $K = V_v \frac{\sqrt{6}}{\pi}$ donde V_v es el coeficiente de variación de la velocidad del viento anual.

Nota EN-1991-1-4: Los valores de K se pueden proporcionar en el anexo nacional. Los valores recomendados son $K = 0,2$ y $n = 0,5$. (Nota: en EN 1991-4 al factor X se le denomina c_{prob} .)

Para los ejemplos de comparación (Tabla 7), se emplea consecuentemente: $K = 0,2$ (correspondiente al coeficiente de variación $V_v = 0,26$) y $n = 0,5$.

3.2.3- Acción climática de la temperatura.

De conformidad con el documento EN 1991-1-5 Acciones Térmicas [7] en el Anexo A (normativo), indica que las temperaturas a la sombra máximas y mínimas del aire T_{max} / T_{min} , para un periodo de retorno de 50 años, pueden simplificarse para otro periodo distinto de retorno de “n” años y probabilidad asignada “p” que se denominan como: $T_{max,p} / T_{min,p}$ utilizando las siguientes expresiones:

$$T_{max,p} = X * T_{max}, \quad \text{para } X = \{k_1 - k_2 \ln [-\ln (1-p)]\} \quad (18)$$

$$T_{min,p} = X * T_{min}, \quad \text{para } X = \{k_3 + k_4 \ln [-\ln (1-p)]\} \quad (19)$$

La expresión (ec. 18) solo puede utilizarse si T_{min} es negativa.

$T_{max,p} / T_{min,p}$ es el máximo/mínimo de la temperatura del aire a la sombra para una probabilidad anual de ser excedidos de probabilidad “p” diferente de 0,02.

Los coeficientes recomendados por EN-1991-1-5 son.

$k_1 = 0,781$, $k_2 = 0,056$, $k_3 = 0,393$, $k_4 = -0,156$ (basados en datos para el Reino Unido).

p es la probabilidad anual de ser excedido para periodo de retorno de n años ($p = P_n$ en la Tabla 7).

El resumen de los coeficientes de reducción X para las acciones climáticas (aplicados de modo general $Q_{k,n} = X * Q_{k,50}$) para diferentes periodos de retorno es:

Periodo de retorno en años	P_n	Coeficiente de reducción X			
		s_n	$v_{b,n}$	$T_{max,p}$	$T_{min,p}$
5 años	0,2	0,75	0,85	0,86	0,63
10 años	0,1	0,83	0,90	0,91	0,74
25 años	0,04	0,93	0,96	0,96	0,89
50 años	0,02	1	1	1	1
100 años	0,01	1,07	1,04	1,04	1,11

(Tabla 7 “Coeficientes “ X ” de reducción para acciones climáticas $Q_{k,n} = X * Q_{k,50}$ ”)

4.-Conclusiones

1ª.- El valor característico de las acciones permanentes en estructuras provisionales de edificación no puede reducirse a pesar de tener una duración ≤ 10 años. En rigor debería incluso de aumentarse ligeramente.

2ª.- Se deduce de la (Tabla 7) que el valor característico para las acciones climáticas puede reducirse si se acorta el periodo de referencia de vida útil estructural en el que se basa el cálculo.

Por ejemplo para una vida útil de 10 años que corresponde a una estructura de carácter temporal:

- La acción debida a la nieve se puede reducir a un 83%.

- La velocidad del viento se puede reducir al 90 % del valor característico para un periodo de retorno de 50 años.

- El valor característico de la temperatura máxima del aire a la sombra se reduce a un 91%, y la temperatura mínima se reduce incluso hasta el 74%.

3ª.- Para las sobrecargas de uso el Eurocódigo EN 1991-1-1 [8] no proporciona fórmulas de reducción para periodos de vida útil estructural más breves. Posiblemente, según expertos en estadística como el profesor checo Holicky M., puedan también reducirse teniendo en cuenta un periodo de referencia más breve.

Sin embargo, la falta de uniformidad de las propiedades aleatorias de las sobrecargas de uso, hace difícil extraer reglas generales y a menos que se disponga

de datos fiables, deben tomarse los valores característicos especificados en los códigos oficiales, sin aplicar reducción alguna.

4º.- La importancia de adaptar el valor característico de las acciones a la vida útil de la estructura (periodo de retorno en una acción climática) tiene cada vez mayor presencia en los Eurocódigos estructurales terminando por incorporarse al articulado en las últimas revisiones.

Así, por ejemplo, la importancia del periodo de retorno en el valor característico de la acción de la nieve, revisada en el año 2004, se presentó en un anexo informativo (ver 3.2.1).

El valor característico de la acción térmica, revisada en 2004, se presenta ya en un anexo normativo (ver 3.2.3).

El valor de la velocidad del viento, revisado en 2007, ya se incluyó en el articulado (ver 3.2.2). CTE en su documento básico SE-AE (revisión abril 2009) aporta muy poca información. Para la acción climática del viento, en su Anexo D proporciona la (Tabla 8). Puede apreciarse que para los periodos de retorno de 10 y 50 años los valores coinciden con los calculados en la (Tabla 7).

Periodo de retorno (años)	1	2	5	10	20	50	200
Coefficiente corrector	0,41	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00	1,08

(Tabla 8 “Corrección velocidad viento en función del periodo retorno según CTE”

REFERENCIAS:

- [1] Ministerio de la Vivienda: “Código Técnico de la edificación”. (2006). Ed. M V, Madrid.
- [2] UNE-EN 1990: “Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras”. (2003). Ed. AENOR, Madrid. (Modificada y completada por UNE EN1990:2003/A1, julio 2010)
- [3] ISO 2394: “General principles on reliability for structures”. (1998). Ed. ISO.
- [4] ISO 13822: “Basis for design of structures –Assessment of existing structures”. (2001). Ed. ISO.
- [5] UNE-EN 1991-1-3: “Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte 1.3: Acciones generales. Cargas de Nieve” (2004). Ed. AENOR, Madrid, 2004. (Erratum UNE-EN1991-1-3:2004/AC, marzo 2010)
- [6] UNE-EN 1991-1-4: “Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte1.4: Acciones generales. Acciones de viento”. (2007). Ed. AENOR, Madrid. (Erratum UNE-EN1991-1-4:2007/AC, abril 2010)
- [7] UNE-EN 1991-1-5: “Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte1.5: Acciones generales. Acciones térmicas”. (2004). Ed. AENOR. (Erratum UNE-EN1991-1-5:2004/AC, marzo 2010)
- [8] UNE-EN 1991-1-1: “Eurocódigo 1. Acciones en estructuras. Parte1.1: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios y sobrecargas de uso en edificios”. (2003). Ed. AENOR, Madrid.