

COMENTARIOS

Sobre el artículo “Un criterio robusto para la medida del margen –coeficiente– de seguridad” de J. Cervera a la luz del Eurocódigo EN 1990: Bases de cálculo. Vol. 62, nº 518, pp. 33-42. 2010.

A. Arteaga y A. de Diego

Instituto de Ciencias de la Construcción, E. Torroja. CSIC

El autor presenta en un elaborado artículo [1] un criterio para definir un nuevo “coeficiente de seguridad” aplicable para arcos. Este coeficiente englobaría los coeficientes parciales de las acciones (γ_G, γ_Q) y los de las resistencias (γ_M) aplicables según los códigos actuales. Para definirlo parte del criterio de que en arcos es probable que el fallo no se produzca por alcanzar tensiones excesivas en los materiales sino por pérdida del equilibrio. Reconociendo el interés y valor intrínseco de la propuesta, entendemos que el método seguido para determinarlo no parte de los principios básicos aceptados para el cálculo estructural y, por tanto, llega finalmente a una propuesta que no es coherente con el cálculo general de estructuras.

Efectivamente, si en el cálculo de un arco determinado adoptamos un coeficiente de seguridad mayor, el arco tendrá más seguridad (menor probabilidad de fallo); pero no asegura que la seguridad de dos arcos sea comparable según el coeficiente adoptado en cada caso (esto es: que el arco con mayor coeficiente de seguridad tenga unas menores probabilidades de fallo) y que, desde luego, su seguridad sea comparable con la de otros elementos estructurales calculados con los coeficientes parciales usuales.

Los criterios de fiabilidad en los que están basados los actuales códigos de cálculo (Código Técnico, Eurocódigos, etc.) consideran que la mayoría de las variables que definen el estado de fallo o no fallo de un elemento estructural son aleatorias: es imposible saber cuáles son los valores máximos de las acciones que van a actuar realmente en la estructura durante su vida útil y qué resistencias van a tener los materiales en todos los puntos durante toda su vida útil. Por tanto, lo que se pretende es que, definido un determinado estado límite y suponiendo conocidas las distribuciones estadísticas de estas variables, dimensionar el elemento para tener la seguridad, si no se producen errores groseros, que la probabilidad de que se produzca el fallo (en general, que los efectos de las acciones superen a la resistencia) sea suficientemente pequeña.

Este criterio probabilista se traduce en los códigos indicados en la adopción de unos valores característicos, definidos en principio con criterios estadísticos (percentil 5% para las resistencias o periodo medio de retorno

de 50 años para las acciones climáticas, por ejemplo) de los cuales se obtienen los valores de cálculo multiplicándolos por unos coeficientes parciales, calibrados de forma que sería muy improbable que se alcanzasen durante la vida útil de la estructura valores superiores de las acciones o inferiores de las resistencias que esos valores de cálculo y, por tanto, unas probabilidades de fallo muy reducidas.

Parte esencial en el proceso es la determinación de los estados límites que definen la separación entre estados adecuados y no adecuados de la estructura y que deberemos saber traducir (formular, en general) a la adecuada relación entre las variables intervinientes: acciones, dimensiones y resistencias.

El Código Técnico [2] no cita explícitamente la existencia de un estado límite de equilibrio, aunque sí indica una serie de coeficientes parciales para un tipo de verificación denominado “estabilidad del conjunto”. Sin embargo, en el Eurocódigo de Bases de Cálculo [3], aunque no de forma muy extensa, sí se indica que deben verificarse, en su caso, varios estados límites últimos entre ellos el de equilibrio (EQU) que define como:

a) *EQU: pérdida del equilibrio estático por la estructura o por cualquier parte de ella considerada como un cuerpo rígido, en que:*

–las variaciones mínimas en el valor o en la distribución espacial de las acciones de un solo origen son significativas, y

–las resistencias de los materiales de construcción o del terreno no rigen generalmente;

El autor indica en su artículo que, para el caso en que lo aplica, de “equilibrio de los arcos”, “asegurar seguridad frente a colapso consiste habitualmente en asegurar que la resultante de las presiones correspondiente a los estados de carga previstos esté contenida suficientemente dentro de la sección [...] No se trata de un problema de resistencia, el colapso se podría producir aun con un material de resistencia infinita”. Evidentemente, expresa las mismas condiciones indicadas en el Eurocódigo y transcritas arriba.

Para este estado límite último de equilibrio el Eurocódigo indica que la comprobación

de seguridad que hay que verificar no es la habitual para los estados límite de resistencia que hemos citado antes: que el efecto de cálculo de las acciones sea menor que la resistencia de cálculo:

$$E_{d, \text{dst}} \leq R_d$$

sino que el efecto de las acciones desestabilizadoras sea menor que el efecto de las acciones estabilizadoras: $E_{d, \text{dst}} \leq E_{d, \text{st}}$ donde:

$E_{d, \text{dst}}$ es el valor de cálculo del efecto de acciones desestabilizadoras;

$E_{d, \text{stb}}$ es el valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras

En el caso presentado en el artículo, el criterio de separación entre acciones estabilizadoras y desestabilizadoras sería según que tiendan, o no, a “asegurar que la resultante de las presiones esté contenida dentro de la sección”.

El Eurocódigo da también, para el caso de edificios, los valores de los coeficientes

parciales que deben ser adoptados y que se reproducen en la tabla adjunta.

Si se admite que los valores característicos están estadísticamente bien determinados y los coeficientes parciales correctamente calibrados (lo que, evidentemente, tampoco se puede admitir con certeza en todos los casos) resultaría un cálculo de la seguridad de los arcos robusto, con seguridades comparables entre arcos según los valores adoptados de valores característicos y coeficientes parciales y, además, con una seguridad equivalente a la de cualquier otro elemento estructural calculado siguiendo las indicaciones de los Eurocódigos y, en cualquier caso, el cálculo se habrá efectuado con la misma filosofía general aceptada.

Este estudio ha sido realizado parcialmente dentro del proyecto Leonardo da Vinci CZ/08/LLP-LdV/TOI/134020 financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta comunicación es responsabilidad exclusiva de los autores. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

Situaciones de proyecto permanentes y transitorias	Acciones permanentes		Acción variable predominante	Acciones variables de acompañamiento	
	Desfavorables	Favorables		Principal (si hubiera alguna)	Otras
Ecuación 6.10	$\gamma_{Gj, \text{sup}} G_{kj, \text{sup}}$	$\gamma_{Gj, \text{inf}} G_{kj, \text{inf}}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
<p>NOTA 1 – Los valores γ pueden establecerse en el anexo nacional. Los valores recomendados de γ son:</p> <p>$\gamma_{Gj, \text{sup}} = 1,10$ $\gamma_{Gj, \text{inf}} = 0,90$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable)</p> <p>NOTA 2 – En los casos en que la verificación del equilibrio estático también comprenda la resistencia de los elementos estructurales, como una alternativa a las dos verificaciones por separado basadas en las tablas A.1.2(A) y A.1.2(B), se puede adoptar una verificación combinada, basada en la tabla A.1.2(A), si lo permite el anexo nacional, con el siguiente conjunto de valores recomendados. Los valores recomendados pueden ser alterados por el anexo nacional:</p> <p>$\gamma_{Gj, \text{sup}} = 1,35$ $\gamma_{Gj, \text{inf}} = 1,15$ $\gamma_{Q,1} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable) $\gamma_{Q,i} = 1,50$ cuando sea desfavorable (0 cuando sea favorable)</p> <p>con tal que la aplicación de $\gamma_{Gj, \text{inf}} = 1,00$ tanto a la parte favorable como a la desfavorable de las acciones permanentes no produzca un efecto más desfavorable.</p>					

REFERENCIAS

- [1] Cervera, J. “Un criterio robusto para la medida del margen –coeficiente– de seguridad”, *Informes de la Construcción*, Vol. 62, Nº 518, pp. 33-42 2010.
- [2] Código Técnico de la Edificación. Ministerio de la Vivienda. Madrid 2007.
- [3] UNE-EN 1990: Bases de Cálculo, AENOR, Madrid 2006.
