

## 14.2 Análisis del proceso de rotura por esfuerzo axial

### 14.2.1 ROTURA POR COMPRESIÓN

En compresión simple, el proceso de rotura es mucho más sencillo que en flexión. Todas las fibras están igualmente solicitadas a lo largo de los distintos escalones de carga, hasta que se alcanza el agotamiento simultáneo en todas ellas. No existen aquí readaptaciones entre unas fibras y otras.

En cambio, el tiempo que dura el proceso de carga es fundamental en compresión simple. Bajo carga rápida, la pieza rompe con tensiones  $\sigma_u$ , aproximadamente iguales a las resultantes en el ensayo de una probeta cilíndrica, es decir,  $\sigma_u = f_{ck}$ . Pero bajo carga mantenida, aparece el fenómeno de *cansancio del hormigón*, por el cual las piezas rompen bajo cargas menores, que pueden llegar a ser del orden del 80 % de las que corresponderían a carga rápida (fig. 14.14).

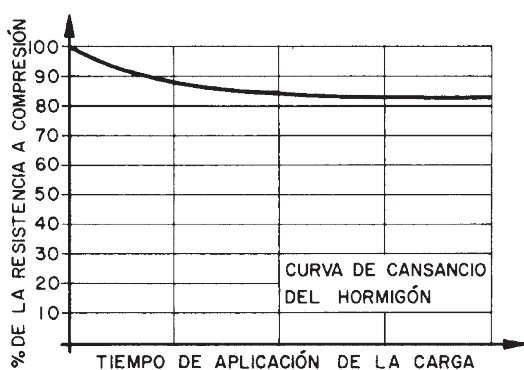


Figura 14.14 Cansancio del hormigón bajo carga mantenida

El fenómeno de cansancio aparece cuando la sección se encuentra totalmente comprimida, pero no se presenta o es despreciable en flexión simple. En el método de cálculo del Momento Tope (cf. §§ 17.2 y 17.3), debido al profesor Eduardo Torroja, la influencia del cansancio se introduce de forma variable al definir el bloque de compresiones sobre el hormigón, con lo que se consigue adaptar éste a la realidad experimental antes apuntada. En el Método Parábola-Rectángulo, desarrollado más modernamente por el CEB, a partir de los trabajos de Rüschi, la reducción por cansancio se introduce en el diagrama de una vez para todas, lo que proporciona resultados correctos en compresión simple y errores muy pequeños, del lado de la seguridad, en flexión.

La Instrucción española vigente recomienda, con carácter general, usar el valor  $\alpha_{cc} = 1$  para el coeficiente de cansancio del hormigón  $\alpha_{cc}$ , que, en ediciones anteriores, valía 0,85. Ello elimina la consideración del fenómeno del cansancio para el cálculo de secciones sometidas a flexión y compresión simple o compuesta. Con esta recomendación se produce una convergencia con el Eurocódigo 2.

Hay que tener en cuenta que las secciones, que se calculan para resistir con suficiente seguridad su carga máxima, durante la mayor parte de su historia van a estar sometidas a valores de la acción inferiores a su valor característico y, por lo tanto, lejos de los valores de la acción mayorada. Por ello, el nivel de tensiones que alcanzará la pieza de forma mantenida (condición necesaria para que aparezca el fenómeno del cansancio) es menor que el necesario para que aparezca dicho fenómeno.

Veámoslo con un ejemplo referido a estructuras usuales de edificación. Los coeficientes de mayoración de

cargas según la Instrucción española son 1,35 para cargas permanentes y 1,5 para sobrecargas, por lo que podemos suponer que se calcula con un coeficiente de 1,4 aplicado a la carga total. Por otro lado, podemos suponer también que la carga cuasipermanente es el 70 % de la carga total. Si se tienen en cuenta ambas aproximaciones, resulta que la distancia entre la carga de cálculo y la que realmente actúa en todo momento es del orden de  $0,7/1,4 = 0,5$ , lo cual significa que la carga permanente no es tan grande como para que se den situaciones de cansancio del hormigón.

Ahora bien, conviene tener precaución a la hora de eliminar el coeficiente de cansancio en el dimensionamiento de ciertas estructuras, ya que la desaparición del 0,85 equivale a un incremento de la resistencia del hormigón, lo cual, en elementos sometidos permanentemente a fuertes compresiones, puede dar lugar a disminuciones de seguridad (cf. Morán, F. y Gutiérrez, J. P., 2008).

Por lo dicho, los autores recomiendan que cuando se tenga la sospecha de que la sección va a estar sometida a altos niveles de tensión de compresión bajo cargas de larga duración (cf. artículo 39.4 de la EHE-08 y § 15.8), se tenga en cuenta un coeficiente de cansancio (por ejemplo,  $\alpha_{cc} = 0,85$ ) en el cálculo. A efectos prácticos, en la página web [www.ggili.com](http://www.ggili.com) pueden encontrarse ábacos y diagramas preparados para el caso en que se considera el 0,85 como coeficiente de cansancio.

Como ya se ha dicho, la deformación de rotura del hormigón en compresión simple es menor que en flexión, del orden de 0,002. Por ello no se puede aprovechar en compresión simple toda la capacidad resistente de los aceros de elevado límite elástico, ya que en el momento de la rotura su tensión es de  $0,002 \cdot 200.000 = 400 \text{ N/mm}^2$ .

### 14.2.2 ROTURA POR TRACCIÓN

En tracción simple el hormigón se fisura muy pronto y es el acero el que toma todo el esfuerzo. Esta forma de trabajo no es propia del hormigón armado.

Cuando, por algún motivo, se construye un tirante de hormigón armado, es recomendable limitar la deformación máxima del acero para que no se produzca una excesiva fisuración del hormigón circundante. Los valores de deformación máxima del acero que suelen utilizarse son de alrededor de 0,001 (1 por mil), lo que significa que el acero trabajaría a una tensión máxima de unos  $200 \text{ N/mm}^2$ .

## 14.3 Armaduras mínimas y máximas

Las limitaciones de cuantía de armaduras se aplican tanto a las armaduras longitudinales como a las transversales.

Comenzaremos por distinguir entre *cuantía geométrica*, que es el cociente entre las áreas de acero (en tracción o en compresión) y hormigón (área total, referida normalmente al canto útil), y *cuantía mecánica*, que es el cociente entre las capacidades mecánicas (área por resistencia) del acero (en tracción o en compresión) y del hormigón.

Los límites inferiores que impone la normativa a las cuantías de las armaduras tienen una doble justificación. Por una parte, evitar la rotura frágil de las piezas y, por otra, evitar la aparición de fisuras por retracción o efectos térmicos, sobre todo si estos fenómenos no han sido tenidos en cuenta en el cálculo, como ocurre con frecuencia. La primera razón ha conducido tradicionalmente a limitar inferiormente la cuantía mecánica de las armaduras, y la segunda, a limitar inferior y superiormente la cuantía geométrica.