



# CAPÍTULO VIII

## DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO

### Artículo 38.º Características de las armaduras

#### 38.1 Generalidades

Las características del acero para el proyecto que se recogen en este artículo, se refieren a las propiedades de las armaduras colocadas en el elemento estructural, de acuerdo con lo indicado en el apartado 3.2.1 de la EN 1992-1-1.

#### 38.2 Diagrama tensión-deformación característico del acero en las armaduras pasivas

Diagrama tensión-deformación característico es el que se adopta como base de los cálculos, asociado en esta Instrucción a un porcentaje del 5 por 100 de diagramas tensión-deformación más bajos.

Diagrama característico tensión-deformación del acero en tracción es aquel que tiene la propiedad de que los valores de la tensión, correspondientes a deformaciones no mayores que el 10 por 1.000, presentan un nivel de confianza del 95 por 100 con respecto a los correspondientes valores obtenidos en ensayos de tracción realizados según la UNE-EN 10080. En compresión puede adoptarse el mismo diagrama que en tracción.

A falta de datos experimentales precisos, puede suponerse que el diagrama característico adopta la forma de la figura 38.2, pudiendo tomarse este diagrama como diagrama característico si se adoptan los valores tipificados del límite elástico dados en el Artículo 32º. La rama de compresión es en todos los casos simétrica de la de tracción respecto al origen.

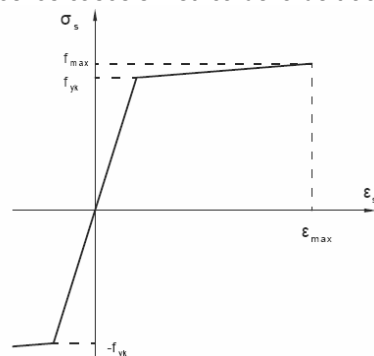


Figura 38.2. Diagrama característico tensión-deformación en las armaduras pasivas

### 38.3 Resistencia de cálculo del acero en las armaduras pasivas

Se considerará como resistencia de cálculo del acero  $f_{yd}$  el valor:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

siendo  $f_{yk}$  el límite elástico característico y  $\gamma_s$  el coeficiente parcial de seguridad definido en el Artículo 15º.

Las expresiones indicadas son válidas tanto para tracción como para compresión.

Cuando en una misma sección coincidan aceros con diferente límite elástico, cada uno se considerará en el cálculo con su diagrama correspondiente.

### 38.4 Diagrama tensión-deformación de cálculo del acero en las armaduras pasivas

El diagrama tensión-deformación de cálculo del acero en las armaduras pasivas (en tracción o en compresión) se deduce del diagrama característico mediante una afinidad oblicua, paralela a la recta de Hooke, de razón  $1/\gamma_s$ .

Cuando se utiliza el diagrama de la figura 38.2, se obtiene el diagrama de cálculo de la figura 38.4 en la que se observa que se puede considerar a partir de  $f_{yd}$  una segunda rama con pendiente positiva, obtenida mediante afinidad oblicua a partir del diagrama característico, o bien una segunda rama horizontal, siendo esto último suficientemente preciso en general.

Se pueden emplear otros diagramas de cálculo simplificados, siempre que su uso conduzca a resultados que estén suficientemente avalados por la experiencia.

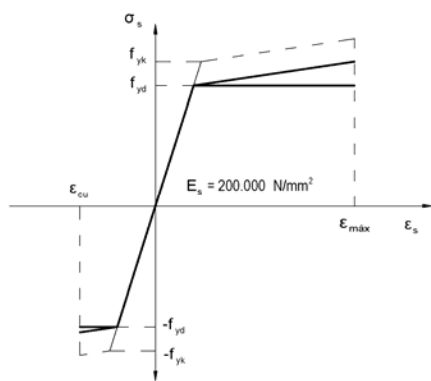


Figura 38.4. Diagrama tensión-deformación de cálculo en las armaduras pasivas

Se adoptará una deformación máxima del acero en tracción en el cálculo  $\epsilon_{m\acute{a}x} = 0,01$ .

### 38.5 Diagrama tensión-deformación característico del acero en las armaduras activas

Como diagrama tensión-deformación característico del acero en las armaduras activas (alambre, barra o cordón) puede adoptarse el que establezca su fabricante hasta la deformación  $\varepsilon_p = 0,010$ , como mínimo, y tal que, para una deformación dada las tensiones sean superadas en el 95% de los casos.

Si no se dispone de este diagrama garantizado, puede utilizarse el representado en la figura 38.5. Este diagrama consta de un primer tramo recto de pendiente  $E_p$  y un segundo tramo curvo, a partir de  $0,7 f_{pk}$ , definido por la siguiente expresión:

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_p}{E_p} + 0,823 \left( \frac{\sigma_p}{f_{pk}} - 0,7 \right)^5 \quad \text{para } \sigma_p \geq 0,7 f_{pk}$$

siendo  $E_p$  el módulo de deformación longitudinal definido en 38.8.

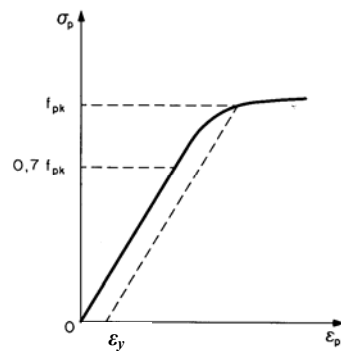


Figura 38.5. Diagrama tensión-deformación característico para armaduras activas

### 38.6 Resistencia de cálculo del acero en las armaduras activas

Como resistencia de cálculo del acero en las armaduras activas, se tomará:

$$f_{pd} = \frac{f_{pk}}{\gamma_s}$$

siendo  $f_{pk}$  el valor del límite elástico característico y  $\gamma_s$  el coeficiente parcial de seguridad del acero dado en el Artículo 15°.

### 38.7 Diagrama tensión-deformación de cálculo del acero en las armaduras activas

El diagrama tensión-deformación de cálculo del acero en las armaduras activas, se deducirá del correspondiente diagrama característico, mediante una afinidad oblicua, paralela a la recta de Hooke, de razón  $1/\gamma_s$  (ver figura 38.7.a).

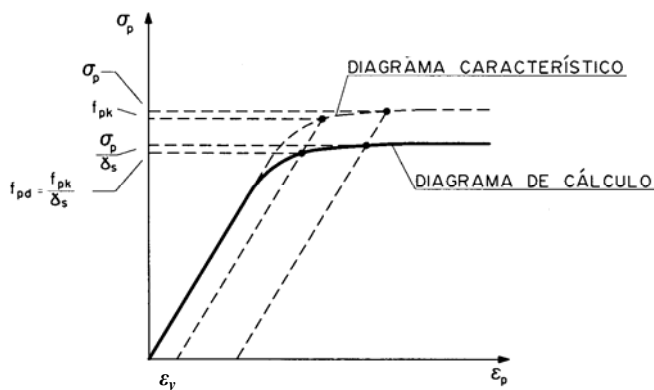


Figura 38.7.a. Diagrama tensión-deformación de cálculo en las armaduras activas

Como simplificación, a partir de  $f_{pd}$  se podrá tomar  $\sigma_p = f_{pd}$  (ver figura 38.7.b).

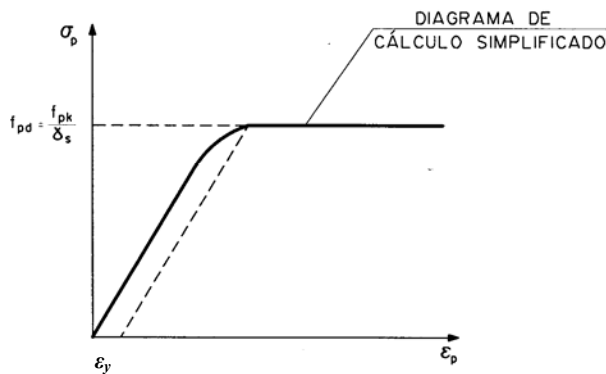


Figura 38.7.b. Diagrama tensión-deformación de cálculo en las armaduras activas

### 38.8 Módulo de deformación longitudinal del acero en las armaduras activas

Como módulo de deformación longitudinal del acero de las armaduras constituidas por alambres o barras se adoptará, salvo justificación experimental, el valor  $E_p = 200.000 \text{ N/mm}^2$ .

En los cordones, se pueden adoptar como valores noval y reiterativo los que establezca el fabricante o se determinen experimentalmente. En el diagrama característico (véase 38.5) debe tomarse el valor del módulo reiterativo. Si no existen valores experimentales anteriores al proyecto puede adoptarse el valor  $E_p = 190.000 \text{ N/mm}^2$ .

Para la comprobación de alargamiento durante el tesado se requiere utilizar el valor del módulo noval determinado experimentalmente.

### 38.9 Relajación del acero en las armaduras activas

La relajación  $\rho$  del acero a longitud constante, para una tensión inicial  $\sigma_{pi} = \alpha f_{m\acute{a}x}$  estando la fracción  $\alpha$  comprendida entre 0,5 y 0,8 y para un tiempo  $t$ , puede estimarse con la siguiente expresión:

$$\log \rho = \log \frac{\Delta \sigma_p}{\sigma_{pi}} = K_1 + K_2 \log t$$

donde:

$\Delta \sigma_p$  Pérdida de tensión por relajación a longitud constante al cabo del tiempo  $t$ , en horas.

$K_1, K_2$  Coeficientes que dependen del tipo de acero y de la tensión inicial (figura 38.9).

El fabricante del acero suministrará los valores de la relajación a 120 h y a 1.000 h, para tensiones iniciales de 0,6, 0,7 y 0,8 de  $f_{m\acute{a}x}$  a temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  y garantizará el valor a 1.000 h para  $\alpha = 0,7$ . Con estos valores de relajación pueden obtenerse los coeficientes  $K_1$  y  $K_2$  para  $\alpha = 0,6, 0,7$  y 0,8.

Para obtener la relajación con otro valor de  $\alpha$  puede interpolarse linealmente admitiendo para  $\alpha = 0,5$ ;  $\rho = 0$ .

Como valor final  $\rho_f$  se tomará el que resulte para la vida estimada de la obra expresada en horas, o 1.000.000 de horas a falta de este dato.

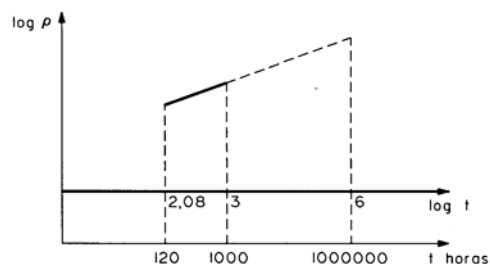


Figura 38.9



### 38.10 Características de fatiga de las armaduras activas y pasivas

La variación de tensión máxima, debida a la carga de fatiga, debe ser inferior a los valores del límite de fatiga indicados en la tabla 38.10.

Tabla 38.10 Límite de fatiga para armaduras pasivas y activas

Tipo de armaduras	Límite de fatiga $\Delta\sigma_D$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Adherencia directa	Adherencia dentro de vainas de acero
Pasivas : - Barras	150	—
-Mallas electrosoldadas	100	—
Activas : - Alambres	150	100
- Cordones de 7 alambres	150	100
- Barras de pretensado	—	100

En el caso de barras dobladas, a falta de resultados experimentales específicos y representativos, el límite de fatiga indicado en la tabla 38.10 deberá disminuirse según el siguiente criterio:

$$\Delta\sigma_{D,red} = \left(1 - 3 \frac{d}{D}\right) \Delta\sigma_D$$

donde:

- $d$  Diámetro de la barra.
- $D$  Diámetro de doblado.

En el caso de estribos verticales de diámetro menor o igual a 10 mm, no será necesaria ninguna reducción del límite de fatiga.

### 38.11 Características de fatiga de los dispositivos de anclaje y empalme de la armadura activa

Los dispositivos de anclaje y empalme se situarán, en la medida de lo posible, en secciones donde sea mínima la variación de tensiones.

En general, el límite de fatiga de este tipo de elementos es inferior al de las armaduras y deberá ser suministrado por el fabricante después de la realización de ensayos específicos y representativos.

## Artículo 39º Características del hormigón

### 39.1 Definiciones

Resistencia característica de proyecto,  $f_{ck}$ , es el valor que se adopta en el proyecto para



la resistencia a compresión, como base de los cálculos. Se denomina también resistencia característica especificada o resistencia de proyecto.

Resistencia característica real de obra,  $f_{c,real}$ , es el valor que corresponde al cuantil del 5 por 100 en la distribución de resistencia a compresión del hormigón suministrado a la obra.

Resistencia característica estimada,  $f_{c,est}$ , es el valor que estima o cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de ensayos normalizados de resistencia a compresión, sobre probetas tomadas en obra. Abreviadamente se puede denominar resistencia característica.

El valor de la resistencia media a tracción,  $f_{ct,m}$ , puede estimarse, a falta de resultados de ensayos, mediante:

$$f_{ct,m} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{ct,m} = 0,58 f_{ck}^{1/2} \text{ para } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

Si no se dispone de resultados de ensayos, podrá admitirse que la resistencia característica inferior a tracción,  $f_{ct,k}$ , (correspondiente al cuantil del 5 por 100) viene dada, en función de la resistencia media a tracción,  $f_{ct,m}$ , por la fórmula:

$$f_{ct,k} = 0,70 f_{ct,m}$$

La resistencia media a flexotracción,  $f_{ct,m,fl}$ , viene dada por la siguiente expresión que es función del canto total del elemento  $h$  en mm:

$$f_{ct,m,fl} = \max\{(1,6 - h/1000)f_{ct,m}; f_{ct,m}\}$$

En todas estas fórmulas las unidades son N y mm.

En la presente Instrucción, la expresión resistencia característica a tracción se refiere siempre, salvo que se indique lo contrario, a la resistencia característica inferior a tracción,  $f_{ct,k}$ .

## 39.2 Tipificación de los hormigones

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato (lo que deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto):

$$T - R / C / TM / A$$

donde:

- T** Indicativo que será HM en el caso de hormigón en masa, HA en el caso de hormigón armado y HP en el de pretensado.
- R** Resistencia característica especificada, en N/mm<sup>2</sup>.
- C** Letra inicial del tipo de consistencia, tal y como se define en 31.5.
- TM** Tamaño máximo del árido en milímetros, definido en 28.3.
- A** Designación del ambiente, de acuerdo con 8.2.1.

En cuanto a la resistencia característica especificada, se recomienda utilizar la siguiente



serie:

20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100

En la cual las cifras indican la resistencia característica especificada del hormigón a compresión a 28 días, expresada en N/mm<sup>2</sup>.

La resistencia de 20 N/mm<sup>2</sup> se limita en su utilización a hormigones en masa.

El hormigón que se prescriba deberá ser tal que, además de la resistencia mecánica, asegure el cumplimiento de los requisitos de durabilidad (contenido mínimo de cemento y relación agua/cemento máxima) correspondientes al ambiente del elemento estructural, reseñados en 37.3.

### 39.3 Diagrama tensión-deformación característico del hormigón

El diagrama tensión-deformación característico del hormigón depende de numerosas variables: edad del hormigón, duración de la carga, forma y tipo de la sección, naturaleza de la sollicitación, tipo de árido, estado de humedad, etc.

Dada la dificultad de disponer del diagrama tensión-deformación característico del hormigón, aplicable al caso concreto en estudio, a efectos prácticos pueden utilizarse diagramas característicos simplificados como los expuestos en el Artículo 21º.

### 39.4 Resistencia de cálculo del hormigón

Se considerará como resistencia de cálculo del hormigón en compresión el valor:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

donde:

$\alpha_{cc}$  Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de compresión debido a cargas de larga duración. En esta Instrucción se adopta, con carácter general, el valor  $\alpha_{cc} = 1$ . No obstante, el Autor del Proyecto valorará la adopción de valores para  $\alpha_{cc}$  que sean menores que la unidad ( $0,85 \leq \alpha_{cc} \leq 1$ ) en función de la relación entre las cargas permanentes y las totales o en función de las características de la estructura.

$f_{ck}$  Resistencia característica de proyecto.

$\gamma_c$  Coeficiente parcial de seguridad que adopta los valores indicados en el Artículo 15º.

Se considerará como resistencia de cálculo a tracción del hormigón, el valor:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ct,k}}{\gamma_c}$$

donde:

$\alpha_{ct}$  Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón cuando está sometido a altos niveles de tensión de tracción debido a cargas de larga duración. A falta de justificación experimental específica, en esta Instrucción se adopta  $\alpha_{ct} = 1$ .

$f_{ct,k}$  Resistencia característica a tracción.



$\gamma_c$  Coeficiente parcial de seguridad que adopta los valores indicados en el Artículo 15°.

### 39.5 Diagrama tensión-deformación de cálculo del hormigón

Para el cálculo de secciones sometidas a sollicitaciones normales, en los Estados Límite Últimos se adoptará uno de los diagramas siguientes:

a) Diagrama parábola rectángulo

Está formado por una parábola de grado  $n$  y un segmento rectilíneo (Figura 39.5.a). El vértice de la parábola se encuentra en la abcisa  $\varepsilon_{c0}$  (deformación de rotura del hormigón a compresión simple) y el vértice extremo del rectángulo en la abcisa  $\varepsilon_{cu}$  (deformación de rotura del hormigón en flexión). La ordenada máxima de este diagrama corresponde a una compresión igual a  $f_{cd}$ .

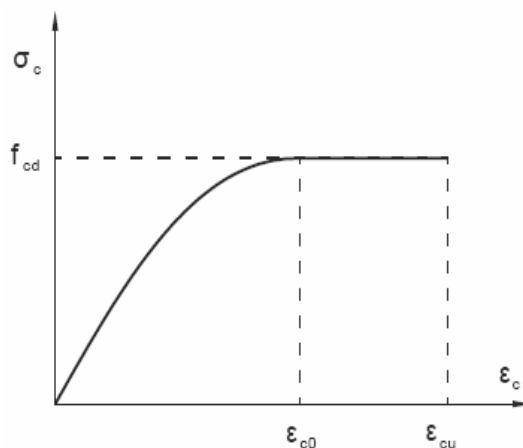


Figura 39.5.a. Diagrama de cálculo parábola-rectángulo

La ecuación de esta parábola es:

$$\sigma_c = f_{cd} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c0}} \right)^n \right] \quad \text{si } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c0}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{si } \varepsilon_{c0} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$$

Los valores de la deformación de rotura a compresión simple,  $\varepsilon_{c0}$ , son los siguientes:

$$\varepsilon_{c0} = 0,002 \quad \text{si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$



$$\varepsilon_{c0} = 0,002 + 0,000085(f_{ck} - 50)^{0,50} \quad \text{si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

Los valores de la deformación última,  $\varepsilon_{cu}$ , vienen dados por:

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035 \quad \text{si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

Eliminado: ¶

$$\varepsilon_{cu} = 0,0026 + 0,0144 \left[ \frac{(100 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

Y el valor  $n$  que define el grado de la parábola se obtiene como:

$$n = 2 \quad \text{si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 1,4 + 9,6 \left[ \frac{(100 - f_{ck})}{100} \right]^4 \quad \text{si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

b) Diagrama rectangular

Está formado por un rectángulo cuya profundidad  $\lambda(x) \cdot h$ , e intensidad  $\eta(x) \cdot f_{cd}$  dependen de la profundidad del eje neutro  $x$  (figura 39.5.b), y de la resistencia del hormigón. Sus valores son:

$$\eta(x) = \eta \quad \text{si } 0 < x \leq h$$

$$\eta(x) = 1 - (1 - \eta) \frac{h}{x} \quad \text{si } h \leq x < \infty$$

$$\lambda(x) = \lambda \frac{x}{h} \quad \text{si } 0 < x \leq h$$

$$\lambda(x) = 1 - (1 - \lambda) \frac{x}{h} \quad \text{si } h \leq x < \infty$$

donde:

$$\eta = 1,0 \quad \text{si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta = 1,0 - (f_{ck} - 50)/200 \quad \text{si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = 0,8 \quad \text{si } f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400 \quad \text{si } f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$$

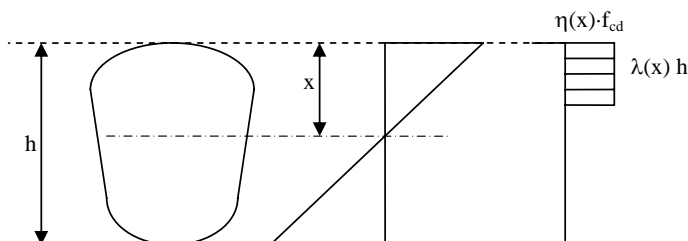


Figura 39.5.b. Diagrama de cálculo rectangular

- c) Otros diagramas de cálculo, como los parabólicos, birrectilíneos, trapezoidales, etc. Se aceptarán siempre que los resultados con ellos obtenidos concuerden, de una manera satisfactoria, con los correspondientes a los de la parábola-rectángulo o queden del lado de la seguridad.

### 39.6 Módulo de deformación longitudinal del hormigón

Como módulo de deformación longitudinal secante  $E_{cm}$  a 28 días (pendiente de la secante de la curva real  $\sigma-\varepsilon$ ), se adoptará:

$$E_{cm} = 8500 \sqrt[3]{f_{cm}}$$

Dicha expresión es válida siempre que las tensiones, en condiciones de servicio, no sobrepasen el valor de  $0,40 f_{cm}$ , siendo  $f_{cm}$  la resistencia media a compresión del hormigón a 28 días de edad.

Para cargas instantáneas o rápidamente variables, el módulo de deformación longitudinal inicial del hormigón (pendiente de la tangente en el origen) a la edad de 28 días, puede tomarse aproximadamente igual a:

$$E_c = \beta_E \cdot E_{cm}$$

$$\beta_E = 1,30 - \frac{f_{ck}}{400} \leq 1,175$$

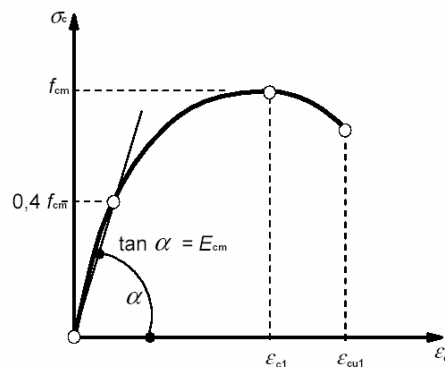


Figura 39.6. Representación esquemática de la relación tenso-deformacional del hormigón

### 39.7 Retracción del hormigón



Para la evaluación del valor de la retracción, han de tenerse en cuenta las diversas variables que influyen en el fenómeno, en especial: el grado de humedad ambiente, el espesor o menor dimensión de la pieza, la composición del hormigón y el tiempo transcurrido desde la ejecución, que marca la duración del fenómeno.

### 39.8 Fluencia del hormigón

La deformación dependiente de la tensión, en el instante  $t$ , para una tensión constante  $\sigma(t_0)$ , menor que  $0,45 f_{cm}$ , aplicada en  $t_0$ , puede estimarse de acuerdo con el criterio siguiente:

$$\varepsilon_{c\sigma}(t, t_0) = \sigma(t_0) \left( \frac{1}{E_{c,t_0}} + \frac{\varphi(t, t_0)}{E_{c,28}} \right)$$

donde  $t_0$  y  $t$  se expresan en días.

El primer sumando del paréntesis representa la deformación instantánea para una tensión unidad, y el segundo la de fluencia, siendo

$E_{c,28}$  Módulo de deformación longitudinal instantáneo del hormigón, tangente en el origen, a los 28 días de edad, definido en 39.6.

$E_{c,t_0}$  Módulo de deformación longitudinal secante del hormigón en el instante  $t_0$  de aplicación de la carga, definido en 39.6.

$\varphi(t, t_0)$  Coeficiente de fluencia.

### 39.9 Coeficiente de Poisson

Para el coeficiente de Poisson relativo a las deformaciones elásticas bajo tensiones normales de utilización, se tomará un valor medio igual a 0,20.

### 39.10 Coeficiente de dilatación térmica

El coeficiente de dilatación térmica del hormigón se tomará igual a  $10^{-5}$ .