

ANEJO 3

ECUACIONES CONSTITUTIVAS DE LOS MATERIALES PARA ANÁLISIS NO LINEAL

Las ecuaciones constitutivas de los materiales que se indican a continuación podrán utilizarse para efectuar un cálculo no lineal de la estructura, definido en los apartados 4.3 y 4.4 del capítulo 4, así como para determinar el momento de sobre-resistencia definido en el apartado 5.3.1.2 del capítulo 5.

En las comprobaciones en régimen de deformación plástica es importante tener una estimación lo más ajustada posible de la distribución de esfuerzos para poder relacionarlos con los de plastificación de las secciones. Además, si se trata de verificar la ductilidad, es necesario hacer una estimación segura de la capacidad de deformación de los materiales. Por ello, los diagramas tensión-deformación deberán ajustarse lo más posible a los reales aunque con deformaciones límite menores. En las ecuaciones constitutivas que se recogen en los apartados siguientes, para los parámetros tensionales se utilizan los valores medios esperados mientras que para los parámetros deformacionales se utilizan valores reducidos.

A3.1. Diagrama tensión-deformación del acero de alta ductilidad para armaduras pasivas

La curva tensión-deformación (figura A3.1) estará definida por un primer tramo elástico lineal, una meseta correspondiente al valor medio del límite elástico y un último tramo de endurecimiento por deformación, de forma parabólica, con valor máximo correspondiente al valor medio de la tensión de rotura. La deformación unitaria de inicio de endurecimiento se tomará con su valor medio y la deformación unitaria máxima se tomará un 30% menor que el valor medio de esta característica del material.

A falta de datos experimentales específicos del material, podrán adoptarse los siguientes valores:

$$f_{ym} = 1,15 f_{yk}$$

$$f_{máx,m} = 1,15 f_{máx,k}$$

$$\varepsilon_{sh} = 0,015$$

$$\varepsilon_{máx} = 0,7 \varepsilon_{máx,k}$$

siendo f_{yk} , $f_{máx,m}$ y $\varepsilon_{máx,k}$ los valores característicos del límite elástico, de la tensión de rotura y de la deformación unitaria máxima, respectivamente.

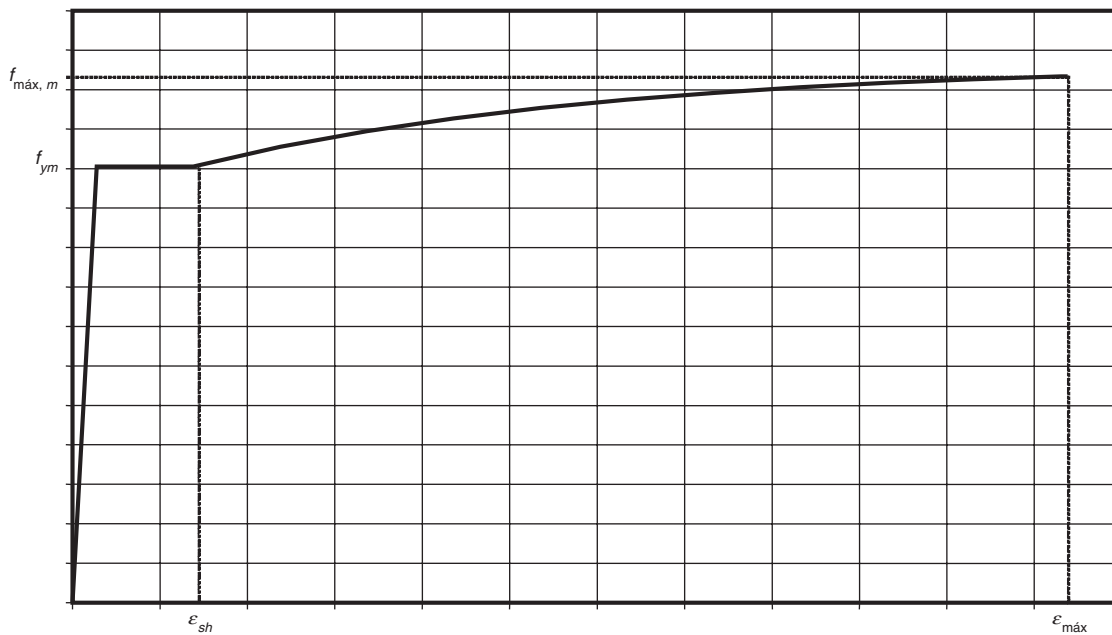


Figura A3.1. Diagrama tensión-deformación del acero de alta ductilidad para armaduras pasivas

A3.2. Diagrama tensión-deformación del acero para armaduras activas

En el caso del acero de pretensar, como la diferencia entre la resistencia media y la característica es pequeña, y este último es el valor garantizado, se tomará como diagrama tensión-deformación el característico definido en la Instrucción de Hormigón Estructural, con una deformación unitaria máxima reducida de valor $\epsilon_{máx} = 0,030$.

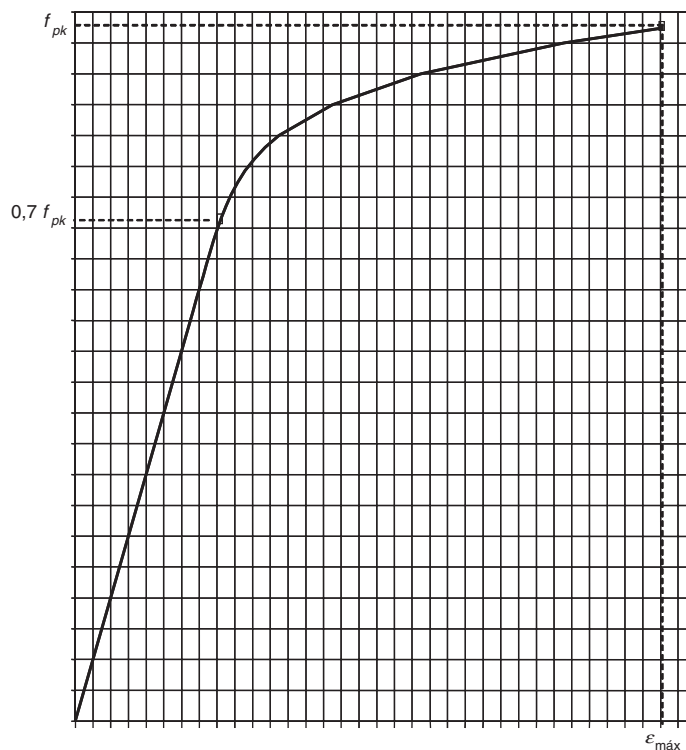


Figura A3.2. Diagrama tensión-deformación del acero para armaduras activas

A3.3. Diagrama tensión-deformación del acero estructural

Para el acero estructural, y a falta de datos específicos, se adoptará una curva tensión-deformación elástica perfectamente plástica, con un valor medio del límite elástico definido por la expresión siguiente:

$$f_{ym} = 1,25 f_{yn}$$

donde f_{yn} es el valor nominal del límite elástico.

Se tomará una deformación unitaria máxima de valor $\varepsilon_u = 0,15$.

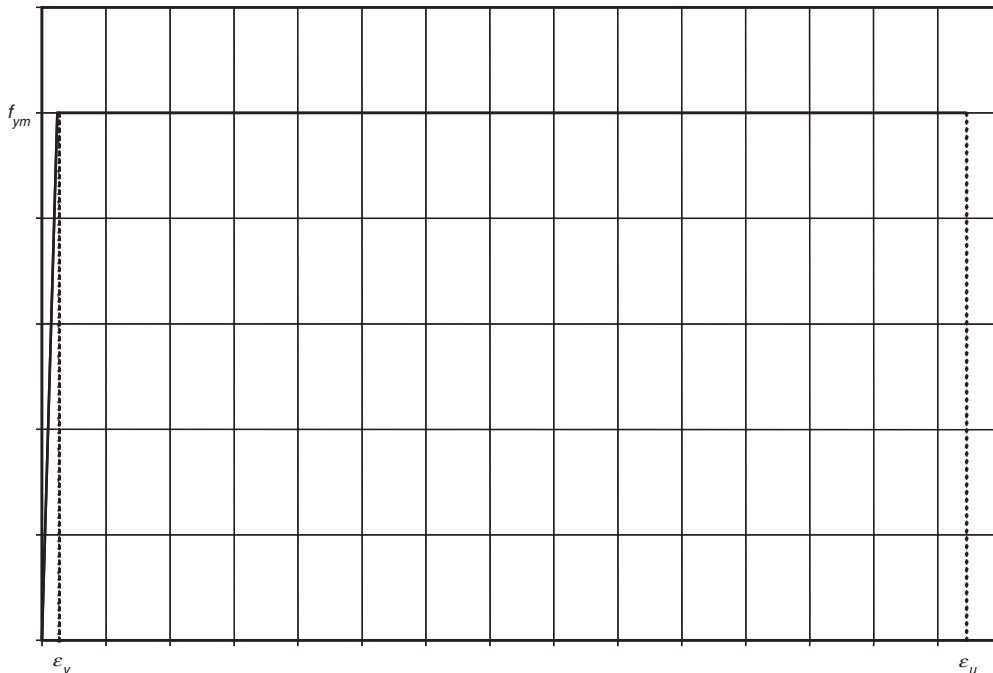


Figura A3.3. Diagrama tensión-deformación del acero estructural

A3.4. Diagrama tensión-deformación del hormigón

Si el hormigón no está confinado, se utilizará el diagrama tensión-deformación definido en la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE, figura 21.3.3) para efectuar un análisis no lineal.

Si el hormigón está confinado, será necesario tener en cuenta esta circunstancia para definir su curva tensión-deformación. Se podrá utilizar la curva definida en la figura A3.4, que corresponde a la expresión siguiente:

$$\frac{\sigma}{f_{cm,c}} = \frac{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,c}} r}{r - 1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,c}}\right)^r}$$

siendo:

$$r = \frac{E_{cm}}{E_{cm} - E_{sec}}$$

$$E_{cm} = 9500 (f_{ck} + 8)^{1/3}$$

(Módulo de elasticidad tangente, en N/mm²).

$$E_{sec} = \frac{f_{cm,c}}{\varepsilon_{c1,c}}$$

(Módulo de elasticidad secante, en N/mm²).

$$f_{cm,c} = f_{cm} \lambda_c \quad (\text{Resistencia media del hormigón confinado}).$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Resistencia media del hormigón sin confinar}).$$

$$\gamma_c = 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{\sigma_e}{f_{cm}}} - \frac{2\sigma_e}{f_{cm}} - 1,254$$

$$\varepsilon_{c1,c} = 0,002 \left[1 + 5 \left(\frac{f_{cm,c}}{f_{cm}} - 1 \right) \right] \quad [\text{Deformación bajo tensión máxima}).$$

σ_e Tensión efectiva de confinamiento, función de la cuantía geométrica de la armadura transversal de confinamiento ρ_w , definida en el capítulo 6 de esta Norma:

$$\sigma_e = \frac{1}{2} \alpha \rho_w f_{ym} \quad \text{Para cercos circulares o armadura helicoidal.}$$

$$\sigma_e = \alpha \rho_w f_{ym} \quad \text{Para cercos rectangulares o estribos (en este caso, la cuantía geométrica puede no ser la misma en las dos direcciones por lo que se debe adoptar la media geométrica de las cuantías en cada dirección).}$$

α Factor de efectividad del confinamiento (Para pilas en las que se han adoptado las cuantías y disposiciones de armado definidas en el apartado 6.2.2.3 de esta Norma, se podrá tomar $\alpha = 1$).

$\varepsilon_{cu,c}$ Deformación última del hormigón confinado, que aproximadamente corresponde al momento en que comienza a romperse la armadura transversal de confinamiento. Puede definirse mediante la expresión siguiente:

$$\varepsilon_{cu,c} = 0,004 + \frac{1,4 \rho_s f_{ym} \varepsilon_{su}}{f_{cm,c}}$$

siendo:

$$\rho_s = \rho_w \quad \text{Para cercos circulares o zunchos.}$$

$$\rho_s = 2\rho_w \quad \text{Para cercos rectangulares o estribos.}$$

$$f_{ym} \quad \text{Valor medio del límite elástico.}$$

$$\varepsilon_{su} \quad \text{Valor medio de la deformación unitaria del acero de armar correspondiente a la fuerza máxima.}$$

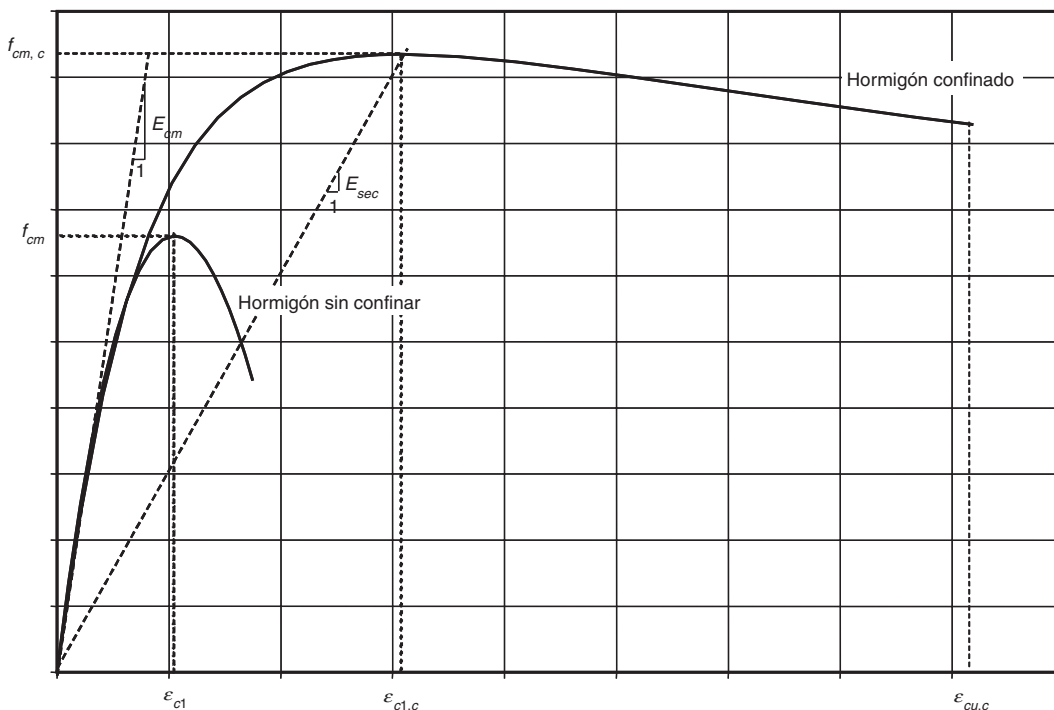


Figura A3.4. Diagrama tensión-deformación del hormigón