

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE FLUENCIA Y DE LA RETRACCIÓN SEGÚN EL MODEL CODE 2010

El objetivo de estas notas es presentar a los alumnos la formulación propuesta por el Model Code 2010 (Bulletin 65, CEB-FIP Model Code 2010, Volumen 1) para el cálculo del coeficiente de fluencia y de la retracción.

A los efectos de este curso, estas notas son suficientes para que el alumno realice los cálculos de retracción y de fluencia. No obstante, el texto se encuentra disponible en la biblioteca del IET y se insta a los alumnos a que realicen una lectura del capítulo 5.1.9.4 Creep and shrinkage.

Coeficiente de fluencia

El coeficiente de fluencia $\varphi(t, t_0)$ puede calcularse de acuerdo a la Ecuación (5.1-63):

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{bc}(t, t_0) + \varphi_{dc}(t, t_0) \quad (5.1-63)$$

donde:

- $\varphi_{bc}(t, t_0)$: es el coeficiente de fluencia básico de acuerdo con Ec. (5.1-64);
- $\varphi_{dc}(t, t_0)$: es el coeficiente de fluencia por secado de acuerdo con Ec. (5.1-67);
- t : es la edad del hormigón en días en el momento considerado;
- t_0 : es la edad del hormigón en días al momento de carga, ajustado de acuerdo a las Ecs. (5.1-73) y (5.1-85).

El coeficiente de fluencia básico $\varphi_{bc}(t, t_0)$ puede estimarse de acuerdo a la Ecuación (5.1-64):

$$\varphi_{bc}(t, t_0) = \beta_{bc}(f_{cm}) \cdot \beta_{bc}(t, t_0) \quad (5.1-64)$$

con:

$$\beta_{bc}(f_{cm}) = \frac{1.8}{(f_{cm})^{0.7}} \quad (5.1-65)$$

$$\beta_{bc}(t, t_0) = \ln \left(\left(\frac{30}{t_{0,adj}} + 0.035 \right)^2 \cdot (t - t_0) + 1 \right) \quad (5.1-66)$$

donde:

- f_{cm} : es la resistencia media a compresión del hormigón a los 28 días en MPa de acuerdo con la Ec. (5.1-1).

El coeficiente de fluencia por secado $\varphi_{dc}(t, t_0)$ puede estimarse de acuerdo a la Ecuación (5.1-67):

$$\varphi_{dc}(t, t_0) = \beta_{dc}(f_{cm}) \cdot \beta(RH) \cdot \beta_{dc}(t_0) \cdot \beta_{dc}(t, t_0) \quad (5.1-67)$$

con:

$$\beta_{dc}(f_{cm}) = \frac{412}{(f_{cm})^{1.4}} \quad (5.1-68)$$

$$\beta(RH) = \frac{1 - \frac{RH}{100}}{\sqrt[3]{0.1 \cdot \frac{h}{100}}} \quad (5.1-69)$$

$$\beta_{dc}(t_0) = \frac{1}{0.1 + t_{0,adj}^{0.2}} \quad (5.1-70)$$

El desarrollo de la fluencia por secado con el tiempo está descrita por la Ecuación (5.1-71a):

$$\beta_{dc}(t, t_0) = \left(\frac{t - t_0}{\beta_h + (t - t_0)} \right)^{\gamma(t_0)} \quad (5.1-71a)$$

con:

$$\gamma(t_0) = \frac{1}{2.3 + \frac{3.5}{\sqrt{t_{0,adj}}}} \quad (5.1-71b)$$

$$\beta_h = 1.5 \cdot h + 250 \cdot \alpha_{f_{cm}} \leq 1500 \cdot \alpha_{f_{cm}} \quad (5.1-71c)$$

$$\alpha_{f_{cm}} = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} \quad (5.1-71d)$$

donde:

RH : es la humedad relativa ambiente en porcentaje;
 $h = 2A_c/u$: es el espesor medio del elemento en mm, siendo A_c es la sección transversal en mm² y u es el perímetro del elemento en contacto con la atmósfera en mm.

A lo largo del curso asumiremos cemento portland normal 42.5 N y que la temperatura media diaria es de 20°C, por lo tanto $t_{0,adj} = t_0$.

Retracción

La retracción total o deformación unitaria por hinchamiento $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ puede calcularse de acuerdo a la Ecuación (5.1-75):

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{cas}(t) + \varepsilon_{cds}(t, t_s) \quad (5.1-75)$$

donde la retracción se subdivide en retracción autógena $\varepsilon_{cas}(t)$, Ecuación (5.1-76):

$$\varepsilon_{cas}(t) = \varepsilon_{cas0}(f_{cm}) \cdot \beta_{as}(t) \quad (5.1-76)$$

y en retracción por secado $\varepsilon_{cds}(t, t_s)$, Ecuación (5.1-77):

$$\varepsilon_{cds}(t, t_s) = \varepsilon_{cds0}(f_{cm}) \cdot \beta_{RH}(RH) \cdot \beta_{ds}(t - t_s) \quad (5.1-77)$$

donde:

- t : es la edad del hormigón en días;
- t_s : es la edad del hormigón al inicio del secado en días;
- $t - t_s$: es la duración del secado en días.

El componente de la retracción autógena $\varepsilon_{cas}(t)$ puede ser estimado por medio del coeficiente de retracción autógena $\varepsilon_{cas0}(f_{cm})$ y la función del tiempo $\beta_{as}(t)$, Ecuaciones (5.1-78) y (5.1-79), respectivamente:

$$\varepsilon_{cas0}(f_{cm}) = -\alpha_{as} \left(\frac{\frac{f_{cm}}{10}}{6 + \frac{f_{cm}}{10}} \right)^{2.5} \cdot 10^{-6} \quad (5.1-78)$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2\sqrt{t}) \quad (5.1-79)$$

donde:

- α_{as} : es un coeficiente dependiente del tipo de cemento (Tabla 5.1-12).

Tabla 5.1-12: Coeficientes α_i utilizados en las Ecuaciones (5.1-78) y (5.1-80).

Clase resistente del cemento	α_{as}	α_{ds1}	α_{ds2}
32.5 N	800	3	0.013
32.5 R, 42.5 N	700	4	0.012
42.5 R, 52.5 N, 52.5 R	600	6	0.012

La retracción por secado $\varepsilon_{cds}(t, t_s)$ se calcula por medio del coeficiente de retracción por secado $\varepsilon_{cds0}(f_{cm})$, el coeficiente $\beta_{RH}(RH)$, que tiene en cuenta el efecto de la humedad relativa ambiente y la función $\beta_{ds}(t - t_s)$ que describe la evolución de la retracción por secado en el tiempo, Ecuaciones (5.1-80), (5.1-81) y (5.1-82), respectivamente:

$$\varepsilon_{cds0}(f_{cm}) = [(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp(-\alpha_{ds2} \cdot f_{cm})] \cdot 10^{-6} \quad (5.1-80)$$

$$\beta_{HR}(RH) = \begin{cases} -1.55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{100} \right)^3 \right] & \text{para } 40 \leq RH < 99\% \cdot \beta_{s1} \\ 0.25 & \text{para } RH \geq 99\% \cdot \beta_{s1} \end{cases} \quad (5.1-81)$$

donde β_{s1} viene dado en la Ecuación (5.1-83).

$$\beta_{ds}(t - t_s) = \left(\frac{(t - t_s)}{0.035 \cdot h^2 + (t - t_s)} \right)^{0.5} \quad (5.1-82)$$

$$\beta_{s1} = \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.1} \leq 1 \quad (5.1-83)$$

donde:

α_{ds1} y α_{ds2} : son coeficientes que dependen del tipo de cemento (Tabla 5.1-12).