

# EVALUACIÓN DE LAS DEFORMACIONES POR FLUENCIA DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.

## Galit Agranati Landsberger

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Madrid  
agranati@gmail.com

## Jaime Fernández Gómez

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
INTEMAC  
Director del Laboratorio Central  
Catedrático de la ETSICCP de la Universidad Politécnica  
de Madrid  
jfernandez@intemac.es

## Resumen

La fluencia es una característica importante del hormigón para la evaluación de su comportamiento a largo plazo. El objetivo de este trabajo ha sido el estudiar la fluencia del hormigón autocompactante en comparación con el hormigón convencional, con el fin de evaluar la aplicabilidad de los actuales modelos de cálculo de la fluencia al HAC. El estudio posee dos partes: la primera incluye la creación de una base de datos de varios estudios publicados sobre la fluencia en HAC. La base de datos incluye un total de 66 mezclas procedentes de 10 diferentes investigaciones, de las cuales 52 son de HAC y 14 de HC. En la segunda parte del trabajo se utilizan varios modelos de estimación y las condiciones específicas de cada mezcla para calcular la fluencia. Los modelos considerados son los incluidos en la EHE, ACI 209-92, B3 y el Eurocódigo EC-2. Se comparan los valores calculados con los datos recogidos en la base de datos utilizando varios métodos estadísticos (regresión lineal, análisis de residuos y coeficiente de variación).

**Palabras Clave:** Fluencia, hormigón autocompactante, modelos de estimación .

## 1. Introducción

El hormigón autocompactante (HAC) es una nueva y emergente tecnología en la industria del hormigón. Este hormigón se caracteriza por su alto grado de trabajabilidad y su capacidad de fluir a través de elementos estructurales congestionados con armadura simplemente por la acción de su propio peso, rellenando todos los espacios de forma adecuada sin segregarse y sin necesidad de compactación externa. En términos reológicos, el HAC se diferencia del hormigón convencional vibrado (HC) por su bajo límite elástico y viscosidad moderada, lo que le permite alcanzar fluidez alta y mantener su homogeneidad.

El HAC contiene básicamente los mismos componentes que el HC (cemento, áridos, arena, adiciones, agua, y aditivos), pero existe una clara diferencia en la composición final de la mezcla. En comparación con el HC, la mezcla de HAC tiene un alto volumen de adiciones, tales como caliza o cenizas volantes, mayor contenido de superplastificantes, y el tamaño máximo del árido grueso es menor. En general, la composición final del HAC implica mayor contenido de pasta y menor contenido de grava.

Estas modificaciones en la composición de la mezcla influyen sobre el comportamiento del hormigón en su estado endurecido, y específicamente, sobre la fluencia. Se acepta habitualmente que la fluencia depende primordialmente de las características de la pasta y el contenido de árido. Generalmente se considera que un hormigón con mayor contenido de pasta y menor contenido de árido manifiesta mayor deformación por fluencia. Aunque el HAC es un hormigón que se caracteriza por su alta deformabilidad y resistencia a segregarse en estado fresco, también tiene que garantizar sus propiedades endurecidas, como la resistencia, durabilidad y deformaciones.

En los últimos años se han publicado varios estudios sobre la fluencia del HAC, y las conclusiones sobre el comportamiento de la fluencia en comparación con el HC son variadas. Según Vieira [1], Assie [3], y Leemann [10], la fluencia del HAC es mayor en comparación con el HC, mientras que Proust [2], Poppe [5] y Persson [6] concluyen que la fluencia del HAC y HC es equivalente.

La utilización de una base de datos con resultados experimentales de varios trabajos es una herramienta importante en el estudio de la aplicabilidad de los modelos de cálculo al HAC. Para aplicar los modelos de cálculo es necesario utilizar investigaciones que definan de forma adecuada la dosificación de las mezclas y la metodología de los ensayos. La base de datos incluye información sobre la dosificación de la mezcla, las propiedades en fresco del HAC, las condiciones de ensayo, la resistencia a compresión y los resultados de fluencia. Es de mencionar que este aspecto aun no ha sido estudiado de forma tan extensa como otros aspectos del el HAC, y que los resultados experimentales publicados aun no son numerosos.

## 2. Base de datos

La **tabla 1** es un resumen general de las mezclas incluidas en la base de datos, que incluye resultados experimentales de 10 investigaciones diferentes, con un total de 66 mezclas, de las cuales 52 son de HAC y 14 son de HC. La **tabla 1** también incluye información adicional sobre la edad de puesta en carga, la duración de los ensayos, la carga aplicada, la humedad relativa, tipo de probeta, y tipo de adición utilizado. También se indica el parámetro utilizado en cada referencia para caracterizar la fluencia, donde: J es la función de fluencia, SC es la fluencia específica,  $\epsilon_{cc}$  es la deformación por fluencia, y  $\phi$  es el coeficiente de fluencia.

Tabla 1 Resumen de las mezclas incluidas en la base de datos de fluencia.

Nº pub	Fuente	Nº ensayos HAC	Nº ensayos HC	Total nº mezclas	t <sub>0</sub> , días	Tensión aplicada, $\sigma$	t, días	Parámetro	HR	Temp, °C	Probeta, mm
1	Vieira <i>et al.</i>	1	1	2	3	variable 6,6-9,5 MPa	180	$\phi$	50%	20	prismática 150×150×600
2	Proust <i>et al.</i>	5	2	7	7	0,3f <sub>c</sub>	300	J	55%	20	Ø 90/280
3	Assie <i>et al.</i>	1	1	2	7	0,4f <sub>co</sub>	170	$\epsilon_{cc}$	50%	20	Ø 110/220
4	Poppe <i>et al.</i>	6	0	6	28	1/3 f <sub>co</sub>	1400	$\epsilon_{cc}$	60%	20	prismática 150×150×500
5	Poppe <i>et al.</i>	2	0	2	28	1/3 f <sub>co</sub>	280	$\epsilon_{cc}$	60%	20	prismática 150×150×500
6	Persson	7	4	11	2, 7, 28, 90	0,2f <sub>c</sub> ; 0,4f <sub>c</sub> ; 0,35f <sub>c</sub>	180, 100	J; $\phi$	60%	20	Ø 100/500
7	Song	16	0	16	1,3,7,28	0,4f <sub>c</sub>	28	$\epsilon_{cc}$ , SC	50%	23	Ø 150/300
8	Mortsell, Rodum	1	1	2	28	0,4f <sub>c</sub> (20MPa)	62	$\epsilon_{cc}$	50%	20	Ø94/280
9	Persson	4	1	5	14	0,3f <sub>c</sub>	556	J; $\phi$	60%	20	Ø100/500, Ø55/300
10	Leeman <i>et al.</i>	9	4	13	28	10MPa	91	$\epsilon_{cc}$	70%	20	prismática 120×120×360
<b>Total de 66</b>		<b>52</b>	<b>14</b>								

### 2.1 Características de de las mezclas

La **tabla 2** incluye el valor medio de algunos datos de interés relacionados con la dosificación de las mezclas.

Tabla 2 Dosificación media de varios componentes de las mezclas de HAC y HC.

	cemento, kg/m <sup>3</sup>	agua, kg/m <sup>3</sup>	adiciones kg/m <sup>3</sup>	Áridos, kg/m <sup>3</sup>			pasta, kg/m <sup>3</sup>	agua/ cemento	agua/ finos
				total	fino	grueso			
HAC	351	170	152	1660	859	801	367	0,51	0,34
HC	369	171	12	1797	794	1003	318	0,48	0,47
$\Delta$	-18	-1		-137	65	-202	49	0,03	-0,13
%	-5%	-1%		-8%	8%	-20%	15%	6%	-28%

De las mezclas incluidas en esta base de datos se puede comprobar que el HAC incluye un elevado contenido de adiciones, con una media de 152 kg/m<sup>3</sup>. El contenido de árido total es un 8% menor que en el HC, pero la diferencia más pronunciada es la disminución del árido grueso, que es un 20% menor en el HAC. El contenido medio de pasta es

un 15% mayor en el HAC. La relación agua/finos del HAC es muy baja, con un valor de 0,34, en comparación con 0,47 para el HC.

El método más utilizado para evaluar las características en fresco del HAC es el ensayo de flujo. En este tipo de ensayo se mide el diámetro de escurrimiento del hormigón, utilizando el cono de Abram y se determina el grado de autocompactabilidad en función de la magnitud del flujo [12]. Según las recomendaciones recogidas en [12], el flujo del hormigón debe estar entre 550 y 800 mm. En la **figura 1** están incluidos los resultados de las mezclas del HAC.

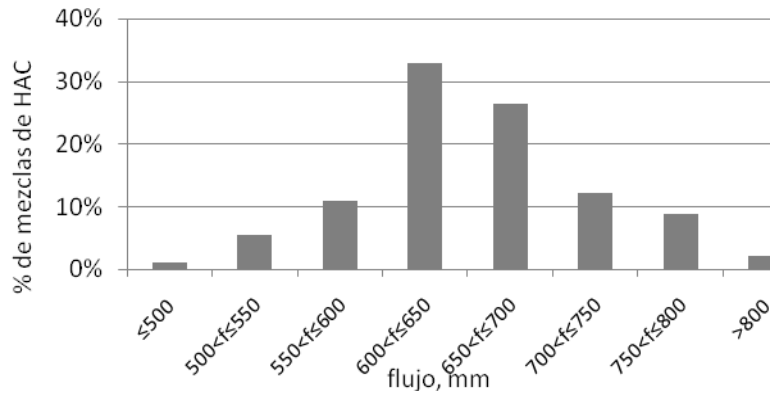


Figura 1 Distribución del flujo de las mezclas de HAC.

## 2.2 Resistencia a compresión

La resistencia a compresión,  $f_c$ , es el parámetro más utilizado para caracterizar al hormigón. La resistencia del hormigón no influye directamente sobre la fluencia, pero depende de otras características que sí influyen, como el contenido de árido, relación agua/cemento o contenido de agua. En general, se considera que la fluencia es menor en hormigones de mayor resistencia a compresión [17]. Todos los modelos, excepto el ACI 209-92, utilizan la resistencia del hormigón en el cálculo de la fluencia.

La resistencia media del HAC es mayor que la resistencia del HC, con valores de 54.9 y 45.6 MPa, respectivamente.

Aunque hay varios factores que influyen sobre la resistencia a compresión, como la relación cemento/árido, el contenido de cemento, o las características del árido, se puede considerar que la relación agua/cemento es el factor más determinante [17]. En la **figura 2** se puede ver que la tendencia general de esta relación se desplaza hacia arriba en el caso del HAC. Este significa que para hormigones de la misma resistencia a compresión, la relación agua/cemento es mayor para el HAC.

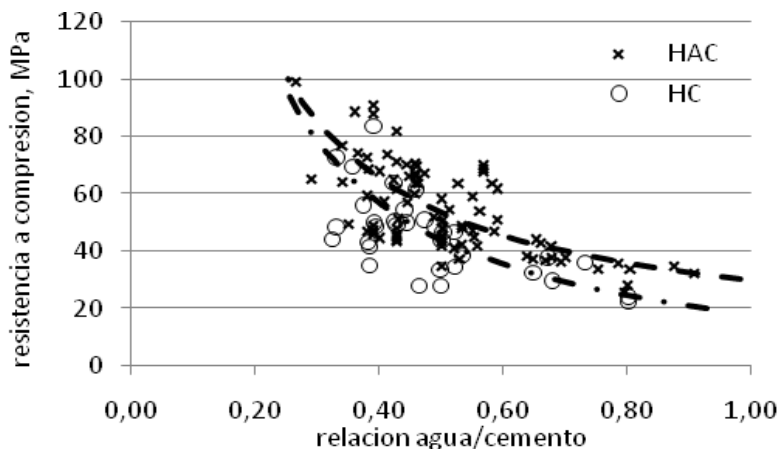


Figure 2 Relación entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión,  $f_{c28}$ .

En general se observa que para conseguir la autocompactabilidad adecuada, la dosificación de las mezclas es tal que la resistencia a compresión del HAC tiende a valores ligeramente más altos que el HC.

De forma general, se puede concluir que, aunque en el HAC el contenido de árido es menor y el volumen de pasta es mayor que en el HC, la resistencia a compresión, para un valor dado de la relación agua/cemento es mayor. Esto se debe, probablemente, a una microestructura más compacta y a una zona de transición más densa, debido al alto contenido de material fino.

### 3. Modelos de cálculo

Estimar la fluencia de forma realista es un aspecto importante en la evaluación de estructuras de hormigón para garantizar su durabilidad y condiciones de servicio a largo plazo. Existen varios modelos empíricos de cálculo para estimar la fluencia del hormigón. Estos modelos varían en su complejidad, precisión y en los parámetros necesarios para el cálculo. Teniendo en cuenta que estos modelos han sido desarrollados y calibrados mediante ensayos relativamente antiguos, y todos de HC, es importante evaluar la aplicabilidad de estos modelos al HAC.

Los modelos utilizados en este trabajo son: el modelo recomendado por el Instituto Americano del Hormigón (ACI), ACI 209-92 [11], los modelos de la EHE [12] y el EC-2 [13], y el modelo B3 desarrollado por Z.P. Bazant y Baweja [14]. El modelo B3 calcula la función de fluencia, mientras que el resto de los modelos estiman el coeficiente de fluencia.

La relación entre los diferentes parámetros está reflejada en las siguientes expresiones:

$$SC = \frac{\varphi}{E_{28}} \quad SC = J - \frac{1}{E_0} \quad SC = \frac{\varepsilon_{cr}}{\sigma_c} \quad (1)$$

Donde: SC es la fluencia específica (MPa/m/m),  $\varphi$  es el coeficiente de fluencia,  $E_{28}$  es el módulo de elasticidad a los 28 días (MPa), J es la función de fluencia ( $\mu\text{m}/\text{m}/\text{MPa}$ ),  $E_0$  es el módulo de elasticidad que corresponde al hormigón en la puesta en carga  $t_0$  (MPa),  $\varepsilon_{cr}$  es la deformación por fluencia ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ),  $\sigma_c$  es la tensión aplicada (MPa).

La **tabla 3** incluye un resumen de las variables necesarias por cada modelo para el cálculo de la fluencia.

Tabla 3 Variables utilizadas por cada modelo en el cálculo de la fluencia \*

Modelo	Variables
EHE	HR, dimensión de la pieza, edad de puesta en carga, edad del hormigón, <b>resistencia a compresión</b> .
ACI 209-92	HR, dimensión de la pieza, edad de puesta en carga, edad del hormigón, condiciones de curado. Los siguientes variables son opcionales: <b>contenido de árido fino, contenido de aire, asentamiento</b> .
B3	HR, dimensión de la pieza, edad de puesta en carga, edad del hormigón, condiciones de curado, forma de la sección, tensión aplicada, edad cuando comienza la retracción, magnitud de la retracción, <b>resistencia a compresión, módulo de elasticidad, contenido de cemento, agua, áridos, tipo de cemento</b> .
EC-2	HR, dimensión de la pieza, edad de puesta en carga, edad del hormigón, <b>resistencia a compresión, tipo de cemento</b> .

\*Las variables relacionadas con las características del hormigón están marcadas en negrita.

Se puede ver que el modelo B3 es el más complejo y requiere 15 variables para el cálculo de la fluencia. El modelo de la EHE es similar al modelo del EC-2, con la diferencia que la EHE no considera el tipo de cemento. El ACI 209, es el único que no utiliza la resistencia a compresión para caracterizar al hormigón.

### 4. Resultados

Los resultados de la investigación incluyen los valores experimentales y calculados de la fluencia de las mezclas de HAC y HC de la base de datos. En el cálculo de las deformaciones se utilizan los parámetros específicos de cada mezcla y las condiciones de ensayo indicadas en la referencia correspondiente. En este trabajo se utiliza la fluencia específica como el parámetro de referencia porque es el parámetro más utilizado en las investigaciones, y esto conlleva

hacer menos conversiones de datos. Las transformaciones entre estos parámetros incrementan el error en los resultados.

#### 4.1 Comparación entre la fluencia calculada y la fluencia medida.

La **figura 3** incluye la magnitud de la fluencia medida y las calculadas, en función de la edad del hormigón para las mezclas de HAC y HC incluidas en la base de datos.

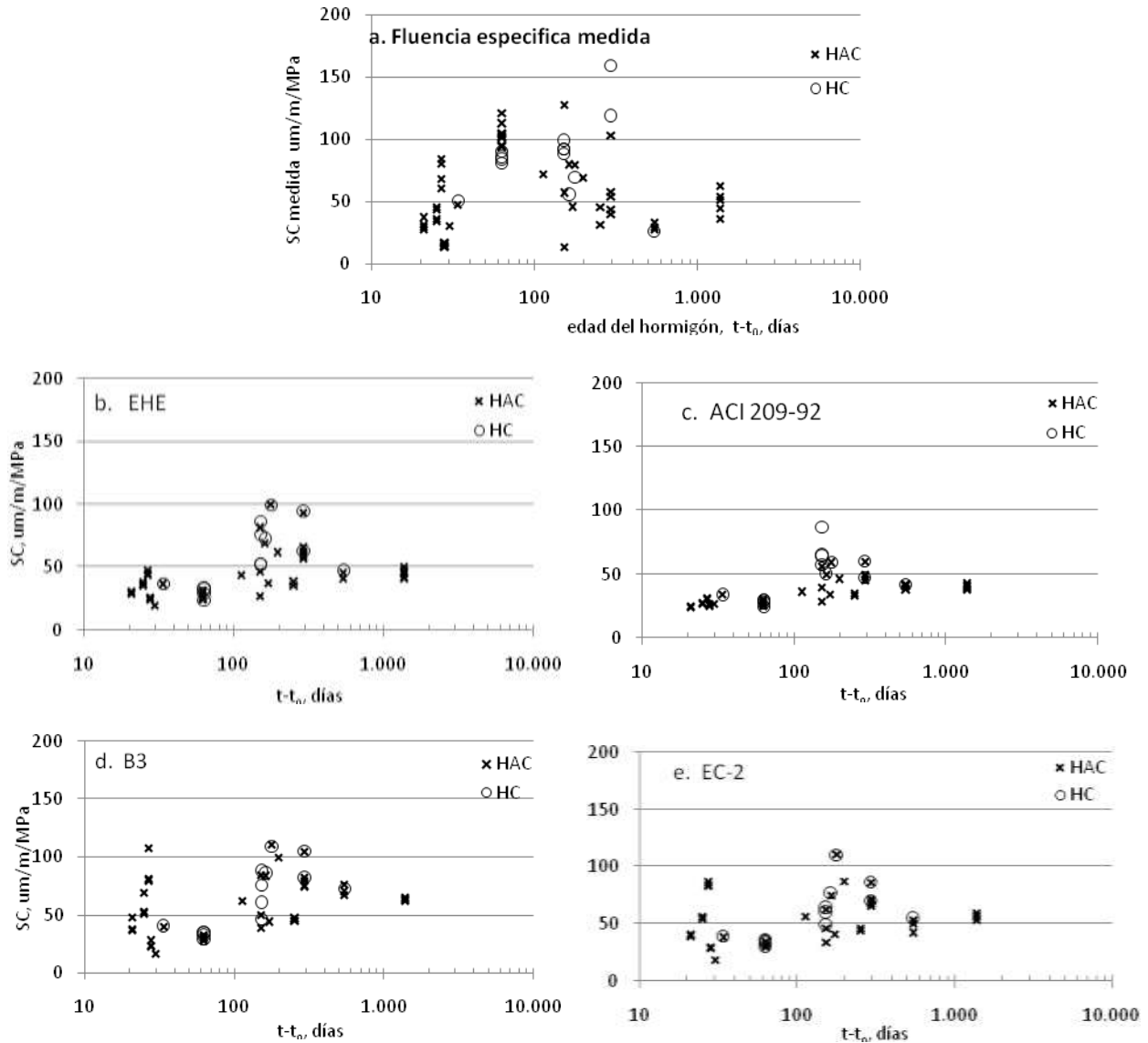


Figura 3 La fluencia específica,  $SC$ , medida y las calculadas de las mezclas de HAC y HC en función de la edad del hormigón,  $t-t_0$ .

Evaluando visualmente la **figura 3** no se observan diferencias notables entre el HAC y HC, y destaca la alta dispersión de los valores medidos en comparación con los calculados. Esto es especialmente notable en el caso del ACI 209 (**Figura 3c**), donde los valores calculados están muy centrados entre un margen limitado de valores. Esto indica que de alguna forma los modelos no tienen en cuenta todas las variables del fenómeno, y por tanto, producen un filtrado de los valores.

También se observa que para todos los modelos la fluencia específica aumenta de forma gradual con la edad del hormigón. Esto se debe a que la fluencia es un fenómeno que evoluciona con la edad.

Tabla 4

Parámetros estadísticos relacionados con la fluencia específica medida y las calculadas del HAC y HC.

	MEDIDO	EHE	ACI 209	B3	EC-2
<b>HAC (n=52)</b>		<b>Edad media del hormigón, t-t<sub>0</sub>, 272 días</b>			
valor medio de SC, $\mu$	57	41	34	55	33
SC <sub>cal</sub> -SC <sub>medido</sub>		-16	-23	-2	-24
Desviación estándar, $\sigma$	31	18	10	24	17
Coefficiente de variación, $\sigma/\mu$	0,55	0,43	0,28	0,44	0,52
<b>HC (n= 14)</b>		<b>Edad media del hormigón, t-t<sub>0</sub>, 169 días</b>			
valor medio de SC, $\mu$	85	57	48	64	53
SC <sub>cal</sub> -SC <sub>medido</sub>		-28	-37	-21	-33
Desviación estándar, $\sigma$	31	25	18	28	27
Coefficiente de variación, $\sigma/\mu$	0,37	0,44	0,37	0,44	0,50

En la **tabla 4** se puede ver que el valor medio de la fluencia es mayor en caso del HC. De esto no se puede deducir que la fluencia es mayor en el HC, porque estos valores no están evaluados considerando la misma edad para todas las mezclas, pero, lo que sí se puede ver es que no parece que la fluencia sea mayor en caso del HAC, como está indicado en algunas investigaciones y documentos [1][3][10][15][16].

La **tabla 4** también incluye la diferencia entre el valor medio calculado y el valor medio medido para los diferentes modelos. En todos los modelos esta diferencia es mayor en el caso del HC. El modelo que mejor estima el valor medio de la fluencia es el B3, pero solo en caso del HAC.

En la **figura 4** se puede ver el desarrollo de la fluencia específica en función del porcentaje de fluencia última, considerando el modelo de cálculo del EC-2 y un hormigón con resistencia característica de 35 MPa, HR 55% y espesor medio, e=50 mm.

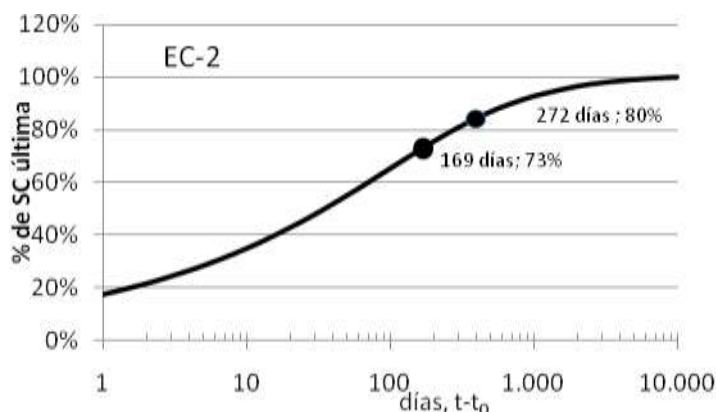


Figura 4 Desarrollo de la fluencia específica última, SC, con la edad del hormigón, t-t<sub>0</sub>, utilizando el Eurocódigo (HR 50%, e=50 mm, f<sub>cm</sub>=35 MPa).

De la **figura 4** se puede ver la edad media de los ensayos sobre el HAC, 272 días, corresponde al 80% de la fluencia última, y la edad media de los ensayos con HC, 169 días, corresponde al 73% de la fluencia última. Este análisis sobre la duración de los ensayos de fluencia viene a comprobar que, aunque es recomendable trabajar con datos de mayor duración, los datos recogidos son adecuados para analizar el comportamiento de los modelos de cálculo de la fluencia.

#### 4.2 Análisis de los modelos de cálculo de la fluencia

Se han empleado varios métodos para analizar la precisión y aplicabilidad de los modelos de cálculo de la fluencia. Entre estos métodos están la regresión lineal, análisis de residuos y coeficiente de variación del método B3.

En la **figura 5** se puede ver la relación entre la fluencia calculada y medida para cada modelo y la recta que mejor coincide con los datos calculada mediante el método de los mínimos cuadrados, para el HAC y HC. Hay que tener en cuenta que en este análisis de regresión lineal se fuerza la recta que pasa por el origen ( $b=0$ ) para reflejar el comportamiento esperado del modelo. El valor de la pendiente de la recta,  $m$ , muestra la tendencia de cada modelo en evaluar la fluencia de las mezclas del HAC y HC. Se utiliza como referencia una recta con pendiente de 1 que refleja la condición de fluencia medida igual a fluencia calculada.,  $SC_m = SC_c$ . El valor de la pendiente,  $m$ , es mayor que 1 para los modelos que tienden a sobreestimar la fluencia y menor que 1 para los modelos la subestiman.

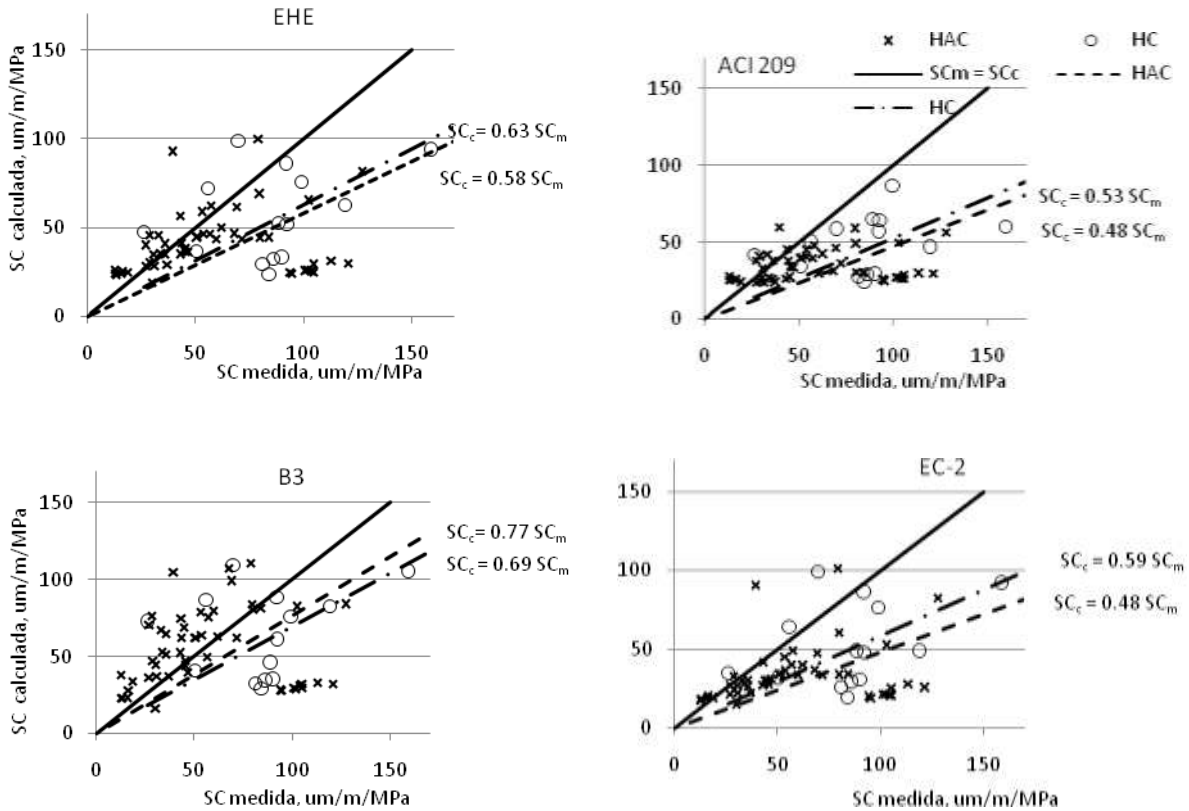


Figura 5 Regresión lineal para la fluencia específica,  $SC$ , calculada utilizando los diferentes modelos.

Todos los modelos subestiman la fluencia del HAC y HC. La recta calculada utilizando el modelo B3 es la que más se acerca al valor de uno, con valor de 0,77 y 0,69 para el HAC y HC, respectivamente. Los modelos que peor estiman la fluencia del HAC son el ACI 209 y EC-2, con pendiente,  $m$ , de 0.48. Una comparación entre estos valores también están incluida en la **Tabla 5**.

El método de los residuos es otro de los métodos utilizados para evaluar y comparar la precisión de los modelos a la hora de estimar la fluencia. El valor del residuo,  $R$ , es la diferencia entre la fluencia calculada y la medida.

$$R = \text{valor estimado} - \text{valor medido} \quad (1)$$

Un valor positivo del residuo indica que el modelo sobreestima la fluencia, mientras que un valor negativo indica que el modelo la subestima. En este método se considera mejor el modelo para el cual los residuos están distribuidos de forma igual entre el rango positivo y negativo y mejor centrados alrededor del eje.

En la **figura 6** están incluidos los residuos de la fluencia de los cuatro modelos utilizados. Se observa que en el caso del ACI 209 y el EC-2 la mayoría de los residuos del HAC y HC están en el rango negativo, mientras que para el modelo B3, los residuos están mejor distribuidos alrededor del eje. También se observa que la magnitud de los residuos negativos es mayor que la de los residuos positivos. El porcentaje de residuos en el rango positivo y negativo está incluido en la **Tabla 5**.

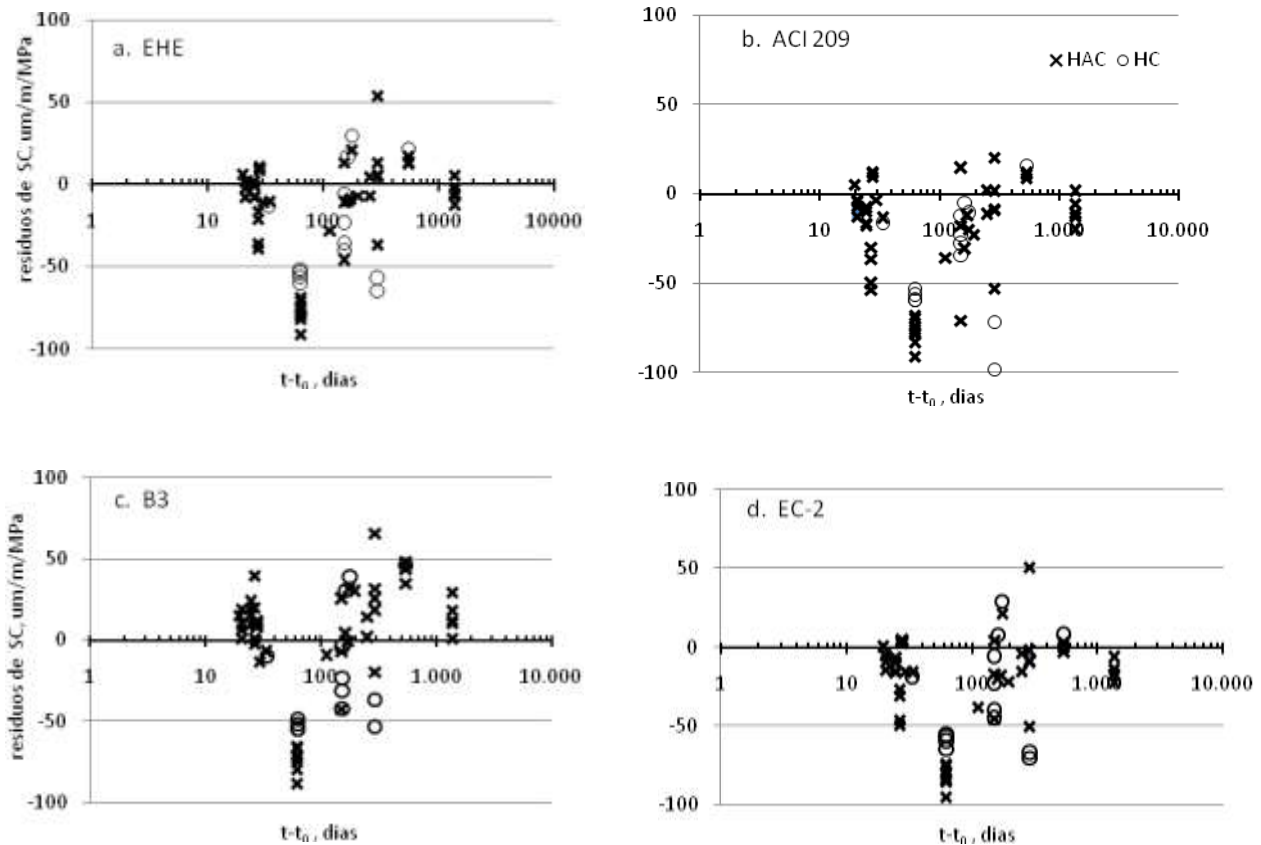


Figura 6 Residuos de la fluencia específica en función de la edad del hormigón,  $t-t_0$ , para el HAC y HC.

El análisis de los residuos indica la capacidad de los modelos en sobreestimar o subestimar la fluencia específica, pero este método no necesariamente indica la precisión del modelo. Para evaluar cual de los modelos estima la fluencia específica con el mínimo error se utiliza al coeficiente de variación,  $\omega$ . Existen varios procedimientos para calcular este parámetro. En este trabajo se ha utilizado la ecuación de método B3 [14]. Los valores de este parámetro para todos los modelos de cálculo están incluidos en la **Tabla 5**. Se considera que la precisión del modelo mejora cuando el valor de  $\omega$  es bajo.

Tabla 5 Resumen de los resultados de análisis de la fluencia específica.

Método	HAC					HC				
	EHE	ACI 209	B3	EC-2	Medido	EHE	ACI 209	B3	EC-2	Medido
Valor medio de SC, $\mu\text{m}/\text{m}/\text{MPa}$	41	34	55	33	<b>57</b>	57	48	64	57	<b>85</b>
Residuos en el rango "+"	37%	25%	67%	19%	—	21%	7%	29%	21%	—
Residuos en el rango "-"	63%	75%	33%	81%	—	79%	93%	71%	79%	—
Regression lineal, m	0.58	0.48	0.77	0.48	—	0.63	0.53	0.69	0.59	—
Coficiente de variación, $\omega$	0.63	0.67	0.65	0.69	—	0.49	0.56	0.48	0.53	—

El coeficiente de variación tiene valores entre 0.63 - 0.69 para el HAC y 0.49 - 0.56 para el HC. El valor más bajo corresponde al HAC de los modelos B3 y EHE, con valores de 0.48 y 0.49, respectivamente. Hay que tener en cuenta que estos valores del coeficiente variación son bastante altos y que normalmente se considera que el modelo tiene una precisión razonable si no se sobrepasa el valor 0.30.



## 5 Conclusiones

En este estudio se presenta una base de datos con resultados de fluencia para HAC y se evalúa la aplicabilidad de cuatro modelos de cálculo de la fluencia a este tipo de hormigón. Aunque es aconsejable utilizar datos de mayor duración, existe una tendencia clara de los datos que permite establecer las siguientes conclusiones:

1. Aunque en el HAC el contenido de áridos es menor y el volumen de pasta es mayor que en el HC, las deformaciones por fluencia no son mayores en el HAC. Esto se debe, probablemente, al aumento en la resistencia a compresión, como resultado de una microestructura más compacta y a una zona de transición más densa, debido al alto contenido de material fino.
2. Evaluando los datos experimentales no se detecta que la fluencia en los hormigones autocompactantes sea mayor que en los convencionales. En este caso, la fluencia específica media es 57 y 85  $\mu\text{m}/\text{m}/\text{MPa}$ , para el HAC y HC, respectivamente.
3. Los valores de la fluencia calculados por los modelos de cálculo se concentran en un margen estrecho de valores, mientras que la fluencia medida muestra una dispersión bastante elevada.
4. Según los métodos estadísticos aplicados, todos los modelos subestiman la fluencia del HAC y HC de forma significativa. Hay que destacar que el análisis de los residuos manifiesta una clara tendencia de todos los modelos en sobreestimar la fluencia cuando ésta tiene valores bajos y subestimarla cuando las deformaciones son mayores.
5. Entre los modelos considerados, el B3 es el que mejor estima la fluencia del HAC y HC y el EC-2 es el peor.
6. Comparando los resultados del análisis, se puede concluir que no hay necesidad de modificar los actuales modelos de fluencia para su aplicación al HAC. Lo que sí se observa es que todos estos modelos son bastante imprecisos y hay que considerar el planteamiento de estos modelos de forma general.

## Referencias

- [1] VIEIRA M. and BETTENCOURT A. "Deformability of Hardened SCC". *RILEM Proceedings PRO 33*, 2003, pp. 606-618.
- [2] PROUST, E., PONS, G., "Macroscopic and microscopic behavior of self compacting concrete creep and shrinkage", *Creep shrinkage and durability mechanics of concrete and other quasi-brittle materials*, edited by F.J. Ulm, Z.P. Bazant, W.H. Whittman, 2001.
- [3] ASSIE, S., ESCADEILLAS G., MARCHESE, G., "Durability of self compacting concrete", *RILEM Proceedings PRO 33*, 2003, pp. 655-662.
- [4] POPPE, A., DE SCHUTTER G., "Creep and shrinkage of self compacting concrete", *RILEM Proceedings PRO 42*, 2005, 329-336.
- [5] POPPE A.M., DE SCHUTTER G. "Creep and shrinkage of self-compacting concrete", *Creep shrinkage and durability Mechanics of Concrete and other Quasi-Brittle Materials*, edited by F.J. Ulm, Z.P. Bazant, W.H. Whittman, Elsevier, 2001, pp. 563-568.
- [6] PERSSON B., "Creep, shrinkage and elastic modulus of self-compacting concrete" , *RILEM Proceedings PRO 7*, 1999.
- [7] SONG H.W., BYUN K.J., KIM S.H., CHOI D.H., "Early creep and shrinkage in self compacting concrete incorporating GGBFS", *Proceeding of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete*, 2001, 413-421.
- [8] MØRTELL E., RODUM E., "Mechanical and durability aspects of SCC for road structures", *Proceeding of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete*, 2001, pp. 459-467.
- [9] PERSSON B., "Shrinkage and creep of high performance self-compacting concrete (HPSCC) ", *ACI special Publication SP220-11*, 2005, pp.155-179.
- [10] LEEMANN A., HOFFMANN C., "Properties of self-compacting and conventional concrete-differences and similarities" *Mag. of Concrete Research*, 57 (3),2005, pp. 315-319.
- [11] ACI 209R-92. American Concrete Institute Committee 209, *Prediction of Creep, Shrinkage and temperature effects in concrete structures*, 1992.

- [12] EHE. Instrucción de Hormigón Estructural, Comisión Permanente del Hormigón. . R. D. 2661/98, de 11 de diciembre. M. Fomento. Madrid, 1999.
- [13] EUROCÓDIGO 2. EUROPEAN STANDARD 1992-1-1 . Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas Generales y Reglas para edificación Versión Española: AENOR, 1993.
- [14] BAZANT Z.P. "Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures-model B3", *Material and Structures*, nº28 , 1995, PP. 357-365.
- [15] ACI 237R-07, American Concrete Institute Committee 237, *Self-Consolidating Concrete*, 2007.
- [16] EHE, Propuesta de modificación de la instrucción – Anejo 21 *Hormigón autocompactante*, 2007.
- [17] NEVILLE A.M. *Properties of Concrete*, 4th ed., Longman Group, Londres, Inglaterra, 1995.