

EVALUACIÓN DE LA RETRACCIÓN Y FLUENCIA EN EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTABLE DE RESISTENCIA MEDIA

EVALUATION OF THE SHRINKAGE AND CREEP OF MEDIUM STRENGTH SELF COMPACTING CONCRETE

CLAUDIA JENNY DE LA CRUZ MORALES

Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín, Colombia, cjacruz@unal.edu.co

GONZALO RAMOS SCHNEIDER

Ph.D. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, gonzalo.ramos@upc.es

WILSON ALEXÁNDER HURTADO PÉREZ

Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas - Medellín, Colombia, wahurtad@unal.edu.co

Recibido para revisar Noviembre 11 de 2011, aceptado Abril 23 de 2012, versión final Mayo 25 de 2012

RESUMEN: La diferencia entre un Hormigón Autocompactable (HAC) y un Hormigón Convencional (HC) en estado fresco, es la alta fluidez del primero y la necesidad de vibración en el segundo; pero en estado endurecido, ambos hormigones deben cumplir con la resistencia especificada, garantizando además la funcionalidad y seguridad para la que fue diseñado. En este artículo se describen los ensayos y resultados de retracción y fluencia para algunos hormigones autocompactables de resistencia media con adición de arena (HAC-RMCAs) y dos tipos de cemento. La investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología de Estructuras (LTE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), preparando dosificaciones de 200 Litros; con la idea de evaluar la efectividad de aplicación de estos nuevos hormigones en elementos pensados con hormigones convencionales (HCs).

PALABRAS CLAVE: Retracción, Fluencia, Hormigón Autocompactable, deformación.

ABSTRACT: The difference between self compacting concrete (SCC) and conventional concrete (CC) is in fresh state, is the high fluidity at first and the need for vibration at second, but in hardened state, both concretes must comply with the resistance specified, in addition to securing the safety and functionality for which it was designed. This article describes the tests and results for shrinkage and creep at some medium strength Self Compacting Concrete with added sand (HAC-RMCAs) and two types of cement. The research was conducted at the Structural Technology Laboratory (LTE) of the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), in dosages of 200 liters; with the idea of evaluating the effectiveness of implementation of these new concretes at elements designed with conventional concrete (HCs).

KEYWORDS: Shrinkage, creep, self compacting concrete, deformation.

1. INTRODUCCIÓN

El Hormigón Autocompactable (HAC) es caracterizado por su alta trabajabilidad y resistencia a la segregación. Posee en su composición básica los mismos materiales que un hormigón convencional (HC), pero sus características en estado fresco son diferentes. El HAC contiene una mayor cantidad de finos y el tamaño máximo del agregado es menor que el de un HC; además, para su mezcla se utilizan reductores de agua de alto rango.

Es importante señalar, que hormigones con altos volúmenes de pasta y bajos volúmenes de agregado exhiben mayores deformaciones por retracción [1], [2]. Bajo las mismas condiciones ambientales, la curva *Retracción –Tiempo* de

un HAC es muy similar a la de un HC [3]; además cuando la resistencia se mantiene constante, las propiedades (en estado endurecido) del HAC son similares al de un HC [4].

Para conocer el desempeño de los hormigones autocompactables de resistencia media (HAC-RMs) en estado endurecido, se decidió inicialmente hacer los ensayos de *Retracción* y *Fluencia* hasta los 180 días (puntos DEMEC y galgas embebidas) [5]. Finalmente se obtuvieron resultados hasta los 629 días de iniciar el ensayo; con la idea de conocer el comportamiento diferido para este tipo de hormigones. Con la realización de estos ensayos (retracción y fluencia), se quería conocer el grado de estabilidad dimensional con el tiempo, de dos (2) tipos de HAC-RM, específicamente, HAC-

RMCA con cementos CEM II 32.5 R y CEM I 42.5R; para relaciones agua/cemento (A/C) 0,45 y 0,42; ya que, ambos HAC-RMs presentaron las mejores características de autocompactabilidad y resistencia a la compresión esperada, al menor coste, según De La Cruz (2006). Todos los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Estructuras (LTE) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

2. DETALLES EXPERIMENTALES

Se realizaron dos (2) amasadas de cada tipo de HAC-RMCA (con CEM II 32.5 R y CEM I 42.5 R de 120 litros de cada una), en la amasadora de acción forzada del LTE de capacidad 250 litros.

A cada HAC-RM se le realizaron dos (2) de los ensayos de caracterización en estado fresco, como son los ensayos de Escurrimiento y Extensión con Anillo de Barras [4], para verificar la autocompactabilidad de los hormigones; debido a que son estos dos (2) procesos los que definen de una manera rápida y fiable el comportamiento autocompactable en estado fresco . También se elaboraron tres (3) probetas de control de cada tipo de HAC-RMCA, para evaluar la resistencia a compresión tras un curado en cámara húmeda según la especificación UNE 83-301 [5], a una temperatura de 23° C y una humedad relativa de 90%, ensayadas a los 28 días de acuerdo con la norma UNE 83-304 [5]. Los resultados de los ensayos de caracterización se presentan en la Tabla 1. De las mismas amasadas se elaboraron 14 probetas cilíndricas, de 150 x 300 mm; que correspondían tres (3) de cada tipo de hormigón para el ensayo de retracción y cuatro (4) de cada tipo de hormigón para el de fluencia.

Tabla 1. Caracterización en estado fresco y resistencia a la compresión en probetas de HAC-RMCA (MPa)

HORMIGÓN	HAC-RMCA	HAC-RMCA	
CEMENTO	II 32.5 R	I 42.5 R	
A/C	0,45	0,42	
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN			
ESCURRIMIENTO	T ₅₀ (s)	2	2
	D _f (mm)	680	690
ANILLO J	D _f	650	640
	C.B	0,8	0,8
P.U REAL	(kg/m ³)	2420	2420
RESISTENCIA y C.V	(MPa) y (%)	30 2,9	42 2,2

Estos hormigones se compararon con un hormigón convencional (HC) de la misma resistencia mecánica. Para evaluar las deformaciones, los moldes fueron provistos de galgas extensométricas (120 Ω) de longitud 10 cm, dispuestas en el centro del eje vertical como

se presenta en la Figura 1. Esto con el fin de captar la deformación axial en el tercio central de la probeta.

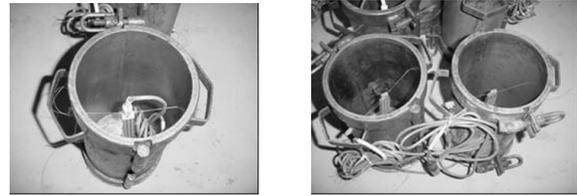


Figura. 1 Moldes para probetas debidamente provistos de galgas extensométricas (De la Cruz, 2006)

Elaboradas las probetas para los ensayos, se desmoldaron a las 24 horas de realizar el vaciado, se refrentaron y se sumergieron en agua, en un tanque ubicado en la cámara climática con humedad relativa (H.R) de 50% a una temperatura de 19°C, durante 28 días.

3. ENSAYO DE RETRACCIÓN

La retracción por secado se ha determinado en tres (3) probetas de cada tipo de HAC-RMCA. Una vez que las probetas se sumergieron en agua se conectaron al equipo de adquisición de datos. Esto, con la idea de hacer un seguimiento a los procesos de deformación del HAC-RM durante el curado.

En la Figura 2., se presenta la secuencia de procedimiento una vez fabricadas las probetas para los ensayos. Transcurridos los 28 días de curado en agua, a cada probeta se le adherían puntos externos de medición (DEMEC) ubicados cada 120° en su superficie lateral como se presenta en la Figura 3.



Figura. 2 Procedimiento, Ensayo de Retracción y Fluencia en probetas de HAC-RMCA(De la Cruz, 2006)

Las demás lecturas se hicieron a las 24 horas de terminar el curado y se continuaron a las 48 y 72 horas, hasta los 42 días. Para tener un mayor conocimiento y control de los cambios volumétricos que podía

tener el HAC-RM; en las figuras 4 y 5, se presenta el comportamiento de las probetas (valores electrónicos) desde el momento de haber finalizado el curado y ser conservadas en cámara climática durante 42 días más (H.R 50% y temperatura de 19°C).



Figura. 3 Probetas con puntos de medida de deformaciones adheridos en la superficie y comparador de longitudes DEMEC N°8865. (De la Cruz, 2006)

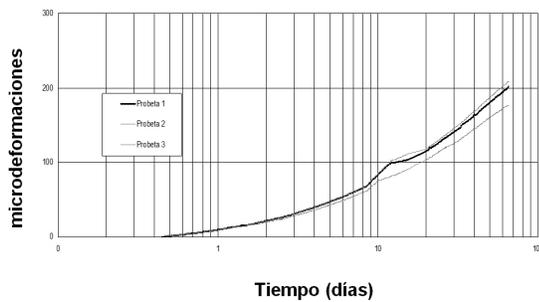


Figura. 4. Evolución de la retracción del HAC-RM con CEM II 32.5 R durante el secado (De la Cruz, 2006)

El seguimiento de deformación con las lecturas electrónicas durante el tiempo de curado, evidenciaron para ambos hormigones un proceso de expansión (valores de deformación negativos), que era de esperarse dada las condiciones de curado a las que estaban siendo sometidos

las probetas. Así pues, dadas las condiciones de ejecución del ensayo (curado en agua), la contribución endógena es despreciable y, por lo tanto, las deformaciones medidas corresponden principalmente a la retracción por secado. Como se puede observar en las gráficas a continuación, los valores electrónicos de las galgas en las primeras horas de secado, presentan un crecimiento rápido de la deformación, que tiende a aumentar de una manera más gradual 24 horas después para los dos HAC-RMCAs. De ahí que el comportamiento es muy similar durante el proceso de retracción medido para ambos HACs-RMs.

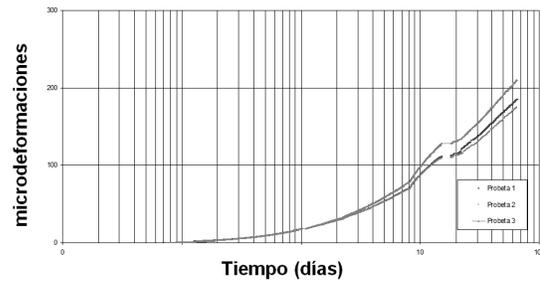


Figura.5 Evolución de la retracción del HAC-RM con CEM I 42.5 R durante el secado. (De la Cruz, 2006)

En la Tabla 2, se resumen los resultados de deformación por retracción con ambos métodos (puntos DEMEC y promedio de los valores electrónicos de las galgas embebidas), donde se observa que los valores puntuales (por edad) son aproximadamente iguales a partir de los 19 días. En las figuras 6 y 7 se presenta la tendencia y el comportamiento de cada probeta individual y su promedio por edad (tres (3) probetas por hormigón) en comparación con el promedio de las lecturas electrónicas desde los dos (2) días de ser retiradas del curado. Las diferencias de los promedios de las lecturas de deformación de los dos (2) métodos empleados. Para cada tipo de HAC-RMCA a los 28 y 42 días es, aproximadamente del 18% con CEM II 32.5 R y del 25% con CEM I 42.5 R.

Tabla 2. Valores de retracción por secado medidos en probeta individual

TIEMPO DE SECADO (días)	HAC-RM II 32.5 R (microdeformaciones)						HAC-RM I 42.5 R (microdeformaciones)					
	DEMEC			PROM.	C.V (%)	GALGAS PROM.	DEMEC			PROM.	C.V (%)	GALGAS PROM.
	1	2	3				1	2	3			
2	14	10	10	12	17	21	10	21	25	19	39	23
3	21	18	26	22	20	31	52	35	49	45	20	34
4	49	42	42	44	9	40	66	53	88	69	26	44
7	59	49	53	54	10	59	77	67	84	76	12	65
8	73	77	89	80	10	65	94	91	91	92	2	71
14	105	101	100	102	3	100	122	123	140	128	8	110
19	133	126	121	127	5	112	147	137	154	146	6	115
21	140	154	131	142	8	117	157	151	165	158	4	117
28	165	189	152	169	11	135	175	172	172	173	1	130
42	199	210	179	196	8	160	203	203	203	203	0	153

Las diferencias no son comparativamente altas, si se tiene en cuenta que las lecturas de deformación con los puntos DEMEC, se han realizado de manera manual con mayor posibilidad de error (implementación-pegado de puntos- y medidas de deformación-toma de datos), y los valores electrónicos se toman directamente del equipo de adquisición de datos (galgas embebidas).

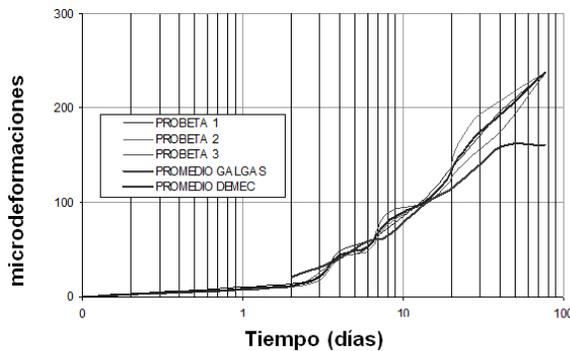


Figura 6. Evolución de las deformaciones por retracción en probetas de HAC-RM con CEM II 32.5 R, medidas con los puntos DEMEC. (De la Cruz, 2006)

Así pues, las figuras 4 y 5 dada la gran cantidad de valores obtenidos, presentan una variación más uniforme que con los puntos DEMEC (más irregulares) que se presentan en las figuras 6 y 7.

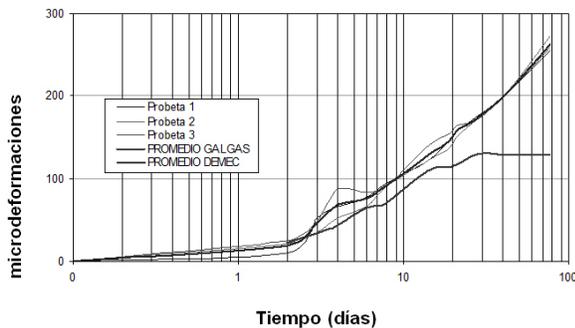


Figura 7. Evolución de las deformaciones por retracción en probetas de HAC-RM con CEM I 42.5 R, medidas con los puntos DEMEC. (De la Cruz, 2006)

Situación que era de esperarse, ya que los valores que se presentan en la Tabla 3, con “DEMEC” son puntuales (por edad) y el comportamiento de la deformación por retracción entre una y otra edad no se considera, como si lo es, para el caso de las lecturas

electrónicas “GALGAS”. Como ya se ha mencionado las deformaciones del HAC-RMCA con CEM II 32.5 R son menores que las del HAC-RMCA con CEM I 42.5 R durante los primeros 19 días; esto podría deberse, a que el CEM II 32.5 R tiene mayor superficie específica proporcionando un acabado más uniforme a las probetas; es decir, con menos poros evitando deformaciones a corto plazo, además de un menor calor de hidratación que disminuye la aparición de fisuras.

En definitiva las tendencias de las evoluciones de las deformaciones por retracción después de los 28 días de curado (considerando cero la lectura justo después del curado) para los dos HAC-RMs son muy similares durante los 42 días de secado.

En la Tabla 3, se presentan las deformaciones por retracción de los HAC-RMs a las edades de 28 y 42 días y los resultados según otras investigaciones para hormigones convencionales (HCs), como es el de Gettu et al. (2000) y la Instrucción de Hormigón Estructural, EHE (2003).

Es importante aclarar que lo fundamental de las comparaciones mencionadas entre los hormigones se basa en que las propiedades mecánicas y ambientales son similares, sin tener en cuenta los materiales componentes.

Estableciendo inicialmente la comparación entre los resultados obtenidos en las mediciones con los puntos DEMEC para los dos HAC-RMCAs a los 28 días y 42 días, se observa que las deformaciones con CEM I 42.5 R son mayores que las del CEM II 32.5 R, en un 2% y 3% respectivamente. Comparando los resultados de las galgas a 28 y 42 días, se observa una diferencia porcentual entre los dos HAC-RMCAs de 4%, siendo mayores con CEM II 32.5 R.

Efectuando los cálculos para un HC con los resultados de un trabajo realizado por Gettu et al. (2000) [4], se obtiene una diferencia con los puntos DEMEC a los 28 días para los dos hormigones del 8% y 5%. Y con las galgas del 19% y 16% en promedio (ver Tabla 3). Esta misma comparación a los 42 días arroja una diferencia del 11% al 8% con los puntos DEMEC y del 15% al 11% con las galgas (considerando el 100% el mayor valor).

Tabla 3. Resultados de retracción con puntos DEMEC y GALGAS en probetas de HAC-RMCA (microdeformaciones) (De la Cruz, 2006)

METODOLOGÍA UTILIZADA								
TIPO DE HORMIGÓN	DEMEC		GALGAS			SEGÚN Gettu et al. (2000) (HC)		SEGÚN EHE ARTÍCULO 39° (HC)
	28 días	42 días	28 días	42 días	28 días	42 días	28 días	42 días
HAC-RMCA CEM I 42.5 R	173	203	130	153	160	180	99	112
HAC-RMCA CEM II 32.5 R	169	196	135	160				

Si se comparan los resultados con la retracción establecida por el EHE (Artículo 39°, Apartado 39.7) [5] para un HC a los 42 días, se observa que para el HAC-RMCA con CEM I 42.5 R es mayor en un 27%, y para el HAC-RMCA con CEM II 32.5 R es mayor en un 30%. Estas diferencias porcentuales son relativas, pues en estudios realizados para un HC por Gettu et al. (2000), se obtiene una retracción mayor en un 15% que la de los HAC-RMCAs y un 38% mayor que la propuesta por el Artículo 39° del EHE.

Según lo descrito, los valores obtenidos con los puntos DEMEC y las galgas, son intermedios a los de la investigación y artículo con los que se está comparando, partiendo de la premisa que estas propuestas están dadas para un HC [8].

Teniendo en cuenta que las mediciones realizadas de forma manual, pueden presentar más errores de precisión (pegado de puntos y lecturas) que con las galgas embebidas, los resultados no presentan diferencias porcentuales grandes, que sugieran verificar la eficacia de las mediciones con ambos métodos, siendo cualquiera de ellos adecuado para determinar la retracción en HAC-RMs.

4. ENSAYO DE FLUENCIA

Para los ensayos de fluencia (ASTM C 512-87), se prepararon cuatro (4) probetas de cada tipo de HAC-RMCA. Las probetas tenían galgas extensométricas embebidas como se presenta en la Figura 8, que una vez desmoldeadas eran refrentadas y sumergidas en agua durante 28 días. Igual que para el ensayo de retracción, una vez obtenido el HAC-RMCA (120 litros para cada HAC-RMCA) se siguió el procedimiento que

se presenta en las figuras 1 y 2. Finalizado el curado, se les aplicó una tensión de compresión uniaxial equivalente al 40% de su resistencia a compresión a la edad de 28 días; es decir, para el HAC-RMCA con CEM I 42.5 R, de 17 MPa y para el HAC-RMCA con CEM II 32.5 R, de 12 MPa; empleando bastidores de carga oleoneumáticos como se presenta en la Figura 8.

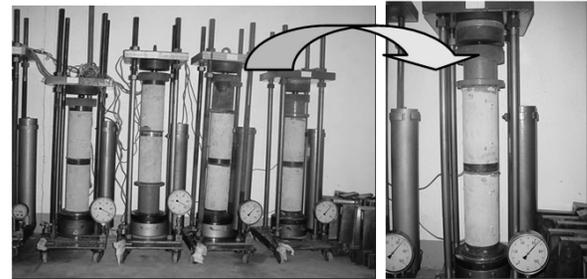


Figura 8. Ensayo de Fluencia en el LTE.

En este artículo se presentan datos parciales y la evolución de la deformación de fluencia (dependiente de una tensión constante) de los HAC-RMCAs durante los 629 días de ser sometidas a carga en los bastidores. Esta evolución se presenta tanto, con las lecturas electrónicas de las galgas, como con los puntos DEMEC. Para determinar la deformación de fluencia, se debe restar a la deformación total (ϵ_{total}) la deformación inicial y la deformación por retracción. La deformación dependiente de la tensión, en el instante t , para una tensión constante aplicada en t_0 , puede estimarse según el Artículo 39° del EHE (2003), con el siguiente criterio:

$$\epsilon_{total} = \sigma(t_0) (1/E_{0,t_0} + \phi(t-t_0)/E_{0,28}), \text{ donde:}$$

$\sigma(t_0)$: Es la tensión constante aplicada en t_0 .

E_{0,t_0} : Módulo de deformación inicial longitudinal

del hormigón en el instante t_0 de aplicación de la carga (definido en el apartado 39.6 del EHE (2003)).

$E_{0,28}$: Módulo de deformación inicial longitudinal del hormigón a los 28 días de edad (definido en el apartado 39.6 del EHE (2003)).

$\phi(t-t_0)$: Coeficiente de fluencia, cuya expresión involucra el coeficiente básico de fluencia ϕ_0 .

A continuación en las figuras 9 y 10, se puede observar el comportamiento de deformación de fluencia según los resultados electrónicos (galgas embebidas) de los HAC-RMCAs (con CEM II 32.5 R y con CEM I 42.5 R); considerando el punto cero, justo antes de aplicar la carga.

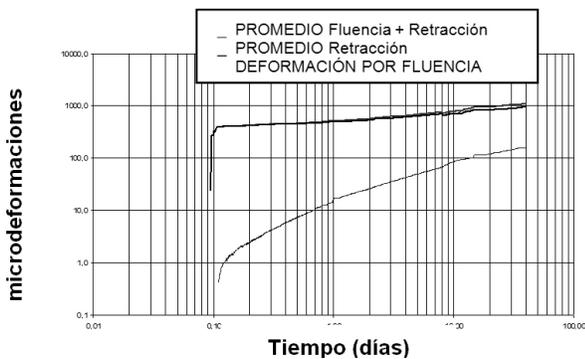


Figura. 9. Deformación por fluencia en HAC-RMCA con CEM II 32.5 R

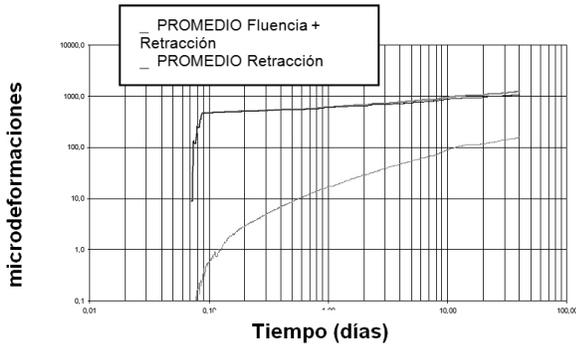


Figura. 10 Deformación por fluencia en HAC-RMCA con CEM I 42.5 R

Para este cálculo se ha restado al promedio (cuatro probetas por hormigón) de la ϵ_{total} (Fluencia + Retracción), la deformación inicial y el promedio de la deformación por retracción (tres probetas por hormigón). En ambas figuras se observa que la tendencia de desarrollo de la deformación total de fluencia para ambos HAC-RMs es similar.

El resultado de deformación por fluencia a los 42 días para el HAC-RMCA con CEM II 32.5 R fue de 1010×10^{-6} ; y para el HAC-RMCA con CEM I 42.5 R fue de 1080×10^{-6} . Para obtener la deformación de fluencia medida en las probetas con los puntos DEMEC, se debe proceder de la misma manera; es decir, restando la deformación inicial y la deformación por retracción a la ϵ_{total} . Este comportamiento se presenta en las figuras 11 y 12.

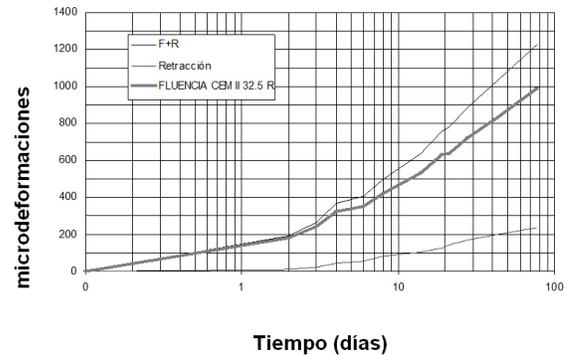


Figura. 11 Deformación de Fluencia del HAC-RMCA y CEM II 32.5 R

Se puede observar que los valores de deformación obtenidos con los puntos DEMEC son menores que con las galgas; considerando además, que los datos son puntuales y en menor cantidad por edad (una lectura por día). Esta diferencia es más notoria a edades tempranas, con tendencia a igualarse en algunos casos a partir de los 19 días. Así pues, empleando los dos métodos, todo parece indicar que a la edad de 19 días de ensayo, las probetas de hormigón logran un equilibrio tanto interno como externo. Por lo que los datos que se obtienen con ambos métodos empiezan a ser muy similares, sino iguales a partir de esta edad. En la siguiente Tabla 4.6, se presentan a manera de resumen y en paralelo los resultados obtenidos hasta los 42 días de la deformación de fluencia para los dos HAC-RMCAs, con los puntos DEMEC y lecturas electrónicas puntuales de las GALGAS.

Si se comparan las deformaciones con los dos métodos para cada tipo de hormigón, se puede observar que están arrojando valores iguales a los 28 días con CEM II 32.5 R y con una diferencia del 11% con el CEM I 42.5 R. A los 42 días las diferencias del valor de la deformación de fluencia oscila entre un 4% y 6%.

Las deformaciones obtenidas con las mediciones de los puntos DEMEC para los dos HAC-RMCAs a los 28 y 42 días, arrojan valores tales que, con el CEM I 42.5 R son mayores en un 2% que con el CEM II 32.5 R.

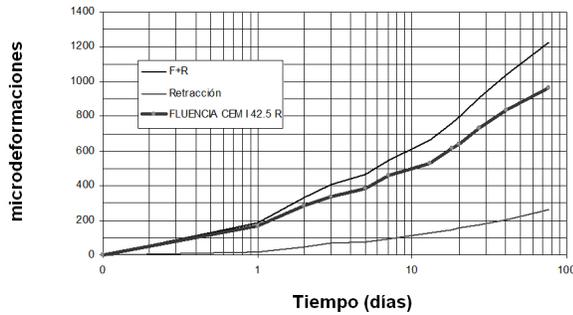


Figura. 12 Deformación de Fluencia del HAC-RMCA con CEM I 42.5 R

Observando las lecturas electrónicas a los 28 y 42 días, la diferencia porcentual entre los dos HAC-RMCAs es de un 12%. Siendo también mayores los del CEM I 42.5 R. Que está en concordancia según los comentarios de Marí y Cladera (2003).

Para calcular la evolución del coeficiente de fluencia (ϕ) de los dos HAC-RMCAs con los valores de las lecturas electrónicas (GALGAS), se aplica la siguiente ecuación según el Artículo 39º del EHE (2003

$$\phi = \epsilon_{fluencia} / \epsilon_{\sigma} - 1$$

Tabla 4. Valores de deformación por fluencia medidos en probeta individual

Días	HAC-RM CEM II 32.5 R (microdeformaciones)							HAC-RM CEM I 42.5 R (microdeformaciones)						
	1	2	3	4	PROM	C.V (%)	GALGAS	1	2	3	4	PROM	C.V (%)	GALGAS
2	214	175	186	196	190	2	530	305	025	228	186	186	17	650
3	249	227	301	284	260	7	590	343	409	340	238	330	9	700
4	420	325	322	399	370	6	620	466	480	357	322	400	9	730
7	406	392	403	427	410	3	690	504	550	413	381	460	9	800
8	476	462	525	539	500	5	670	595	578	574	448	550	7	830
14	637	633	642	630	640	1	830	742	648	644	606	660	6	940
19	700	805	766	756	760	5	840	886	731	749	690	760	8	950
21	721	822	781	798	780	5	840	900	742	819	728	790	7	960
28	819	910	942	896	890	5	890	1001	928	872	826	910	6	1020
42	956	1001	1117	1005	1020	6	1010	1120	1047	1001	917	1040	5	1080

En la figura 13, se presentan los resultados obtenidos del ϕ , para los hormigones HAC-RMCAs con CEM II 32.5 R y con CEM I 42.5 R:

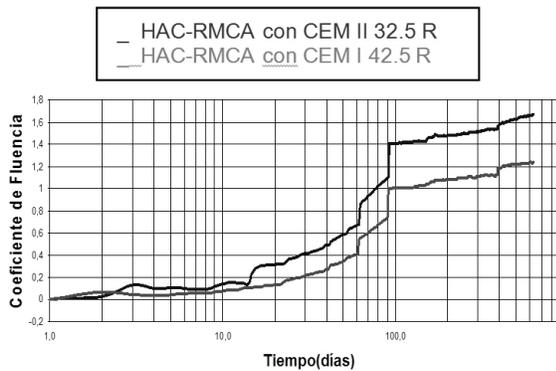


Figura. 13. Evolución del coeficiente de fluencia (ϕ), para los HAC-RMCAs con CEM II 32.5 R y CEM I 42.5 R (De La Cruz, 2006)

Como se puede observar en la figura anterior, los valores de ϕ son menores para el hormigón con CEM I 42.5 R en un 50% a los 28 días, y en un 61% a los 42 días, en comparación con el otro hormigón con CEM II 32.5 R.

A manera de comparación, se presentan los valores de ϕ para un hormigón con las mismas propiedades mecánicas, condiciones ambientales similares y al mismo tiempo de ensayo, según la propuesta de cálculo del Artículo 39º (EHE (2003)), Roncero et al. (2001) y Marí y Cladera, 2003 (“RH=60%”); y se observa que el valor de ϕ con CEM I 42.5 R es menor que para el hormigón con CEM II 32.5 R, en un 75% y 62% respectivamente.

Para efectos de análisis [8], comparando los resultados electrónicos (mayor cantidad de datos) con los cálculos para un HC a los 42 días de ensayo, según la propuesta del Artículo 39º la diferencia es de un 61% para el HAC-RM CEM I 42.5 R y para el otro de tan solo un 14%. Pero si hacemos la misma comparación con el ϕ de la investigación de Roncero et al. (2001), la diferencia porcentual es de un 55% para el HAC-RM con CEM I 42.5 R y cero para el HAC-RMCA con CEM II 32.5 R. Por último, si consideramos la propuesta de ϕ según Marí y Cladera (2003), el HAC-RMCA con CEM I 42.5 R presenta una diferencia porcentual del 73% y del 40% con el HAC-RMCA con CEM II 32.5 R, considerando que esta propuesta, es la más alejada de las investigaciones (Ver Tabla 5.).

Tabla 5. Comparación del Coeficientes de Fluencia hasta los 169 días

TIPO DE HORMIGÓN	(ϕ) (169 DÍAS)
HAC-RMCA CEM I 42.5 R	0,81
HAC-RMCA CEM I 42.5 R	1,15
HC (Roncero et al. (2001))	0,80

5. CONCLUSIONES

- Según estas comparaciones porcentuales el HAC-RMCA con CEM II 32.5 R, tiene un deformación por fluencia similar a la de un HC con las mismas propiedades mecánicas. Situación que difiere en un porcentaje alto para el otro hormigón con CEM I 42.5 R. Esto no descarta de ninguna manera que este último tenga una deformación por fluencia similar a la de un HC, pues se ha comparado con hormigón de resistencia característica de 35 MPa, y su resistencia a la compresión a los 28 días es de 43 MPa.
- Si se comparan las metodologías y propuestas utilizadas sólo con el HAC-RMCA con CEM II 32.5, se puede decir que los resultados no presentan diferencias porcentuales grandes, que sugieran verificar la eficacia de las mediciones con ambos métodos, siendo cualesquiera de ellos adecuado para determinar la deformación de fluencia de los HAC-RMs.
- Todo parece indicar que los cálculos que sugiere el Artículo 39º para determinar la evolución del coeficiente de fluencia, es aplicable a HAC-RMs.
- Igual que para el caso de la determinación de la retracción de este tipo de hormigones, no se descarta de ninguna manera, hacer un estudio más exhaustivo

de deformación y la evolución de ϕ para los HAC-RMs, dando continuidad con las mediciones y cálculos que ayuden a identificar de manera fiable el comportamiento diferido de este tipo de HACs.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Neville, A. M., *Properties of Concrete*, 4th Edition, Person Education Limited, Harlow, UK, P. 434 1996.
- [2]. Loser, R., Leemann, A., Shrinkage and restrained shrinkage cracking of self-compacting concrete compared to conventionally vibrated concrete, *Materials and Structures*, 42, pp. 71–82, 2009.
- [3]. Xiao-jie Liu, Zhi-wu Yu and Li-zhong Jiang, Long term behavior of self-compacting reinforced concrete beams, *J. Cent. South Univ. Technol.*, 15, pp. 423-428, 2008.
- [4]. Persson, B., A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete, *J Cement and Concrete Research.*, 31, pp. 193–198, 2001.
- [5]. De La Cruz, C., *Hormigones Autocompactables de Resistencia Media para Aplicaciones Estructurales*. Tesis Doctoral, 2006.
- [6]. *Recopilación y especificaciones de las Normas UNE/AENOR.*
- [7]. *Instrucción del Hormigón Estructural (EHE), Norma Europea.*
- [8]. De La Cruz et al., Ensayos a Cortante de Vigas de Hormigón Estructural. *Revista DYNA* N° 159, (76). pp. 36-41. 2009.