

Influencia de las máquinas de ensayo y métodos de curado sobre la resistencia a compresión de probetas de hormigón

Por **Alfredo Torres Pérez, Dr. C.C. Físicas**
MOPT - Demarcación de Carreteras,
Laboratorio. Valladolid.



Cámara de conservación A.

1. Introducción

La proliferación de los Laboratorios homologados de Control de Calidad de Materiales para Carreteras y Edificación ha motivado que las Empresas de Construcción y, más concretamente, las Empresas de Construcción de Carreteras, que es el caso que nos ocupa, dispongan de un buen número de Laboratorios para realizar el control de los materiales que se emplean en la ejecución de las obras de construcción en las que están implicadas.

El equipamiento de los Laboratorios homologados es, por supuesto, el adecuado para los ensayos de control para los que están acreditados. Es práctica general que la mayoría de es-

tos laboratorios estén acreditados en la fabricación, curado y rotura de probetas de hormigón, ensayos necesarios para el control de la ejecución y puesta en obra de hormigón (Instrucción EH-91), dado que éste es un material que se ejecuta en obra y es de uso extendido en edificación y carreteras, sobre todo en lo que respecta a obras de fábrica.

De acuerdo con estas consideraciones se deduce fácilmente que, en lo que se refiere a la fabricación, curado y rotura de probetas de hormigón objeto de este trabajo, las Empresas constructoras disponen de suficientes laboratorios para realizar dicho cometido. En el conjunto de estos laboratorios se encuadran los laboratorios propios de la Administración, y más concretamente, los laboratorios a pie de obra y centrales de las distintas Demarcaciones de Carrete-

ras. Por lo general, la empresa constructora utiliza para su control laboratorios homologados propios o contratados, y la Administración (Demarcación de Carreteras) hace uso, por otra parte, de los laboratorios del Servicio de Apoyo Técnico de la propia Demarcación.

Plantado así como norma de actuación para el control del hormigón por parte de la Demarcación de Carreteras y la Empresa adjudicataria de la obra, la controversia se plantea cuando los diferentes laboratorios presentan resultados de rotura de probetas de hormigón distintos. Esta controversia da lugar a conflictos cuando estos resultados están por debajo de los límites de rotura mínimos exigidos (R_d) en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

En un intento de obtener información acerca de las posibles causas que

dan lugar a estas diferencias encontradas se ha realizado el presente trabajo. En el mismo se consideran, solamente, aquellos aspectos que intervienen en el proceso de elaboración de probetas, y equipos para determinar la resistencia a compresión de un hormigón previamente fabricado; esto es, la fabricación, curado y rotura de probetas de hormigón. Para lo cual se ha procedido utilizando hormigón de una planta industrial realizando las probetas a pie de planta.

El seguimiento cuidadoso de la fabricación, curado y rotura de probetas es importante para que los resultados sean representativos del hormigón en estudio. Los tres procesos deben controlarse, por tanto, adecuadamente. No obstante, con objeto de acotar más este estudio, se ha procedido a realizar las probetas en las mismas condiciones de fabricación, según la Norma UNE-83-301-84 (1), y ejecutadas todas ellas por los mismos operarios; así, nuestro estudio se ha centrado en el curado y rotura de probetas.

En cuanto al curado de probetas se ha procedido a analizar distintos procesos de curado de los que recoge la Norma UNE-83-301-84. Por lo que se refiere al proceso de rotura se han utilizado dos prensas, realizando el ensayo de rotura en ambas según la Norma UNE-83-304-84 (2).

2. Materiales y equipo.

Para el estudio de curado y rotura de probetas se han fabricado una serie de probetas cilíndricas de hormigón de alta resistencia, de dimensiones 15x30 cm y consistencia, medida mediante cono de Abrams según Norma UNE-7103 (3), de 2 a 4 cm. En todo el proceso se han mantenido las mismas condiciones de fabricación; probetas compactadas por vibrado. Para la conservación de probetas se han utilizado dos cámaras de conservación y para el ensayo de rotura dos prensas, cuyas características se indican a continuación.

2.1. Cámaras de conservación.

2.1.1. Cámara de conservación A

Esta cámara de conservación, o cámara húmeda, es la del Laboratorio del Servicio de Apoyo Técnico de la Demarcación de Carreteras de Castilla y León Occidental. La superficie de la cámara es de forma de trapecio isósceles de 45 m² y de 2,40 m de altura. Dispone de tres piscinas de curado, o balsas de inmersión, independientes con superficies de evapo-

**“
E
n este trabajo
se consideran, solamente,
aquellos aspectos que
intervienen en el proceso de
elaboración de probetas, y
equipos para determinar la
resistencia a compresión de
un hormigón previamente
fabricado.”**

ración de 7 m², 20 m², y 7 m², además de estanterías para el alojamiento de las probetas de hormigón. El grado de saturación, no inferior al 97%, se mantiene por la gran superficie de evaporación. La temperatura de la cámara presenta como valores extremos en el período de un año, de 18°C a 22°C. Las puertas de acceso a la cámara son de cierre hermético. Estas características cumplen las especificaciones exigidas en la Norma UNE-83.301, apartado 3.5. El análisis quí-

mico del agua de las piscinas se recoge en la Tabla I.

Se han utilizado tres balsas de inmersión con distinto contenido de cal para el curado de probetas. Tabla I.1.

Como quiera que la concentración de Ca⁺⁺ en una solución saturada es de 930 mg/l podemos definir las balsas de curado como: exentas de cal, concentración moderada y concentración saturada de cal.

2.1.2. Cámara de conservación B.

Cámara de laboratorio a pie de obra, de la Demarcación de Carreteras de Castilla y León Occidental, de dimensiones 3.2x1.6x2.4 m³. Equipada con un difusor de agua para la saturación de la misma, con un grado de saturación del 99%, sin control específico de temperatura. Los valores de temperatura extremos medidos en el proceso de curado durante el presente estudio han sido de 12°C y 18°C. El análisis del agua difundida se resume en la Tabla II.

2.2. Prensas de rotura

2.2.1. Prensa de rotura M.

Prensa de Laboratorio del Servicio de Apoyo Técnico de la Demarcación

Tabla I - Análisis químico del agua. Cámara A

Componentes	Valor medio	Especificación (UNE-83-301)
pH	7	>= 5
Sulfatos, SO ₄ ²⁻	0.093 mg/l	<= 200 mg/l
Cloruros, Cl ⁻	ligeros indicios	<= 6 g/l
Hidratos de Carbono	nulo	0

Tabla I.1. Contenido de cal

Balsa de inmersión	Ca ⁺⁺ (mg/l)
a-0	Inapreciable
a-1	80
a-2	842

Tabla II - Análisis químico del agua. Cámara B

Componentes	Valor medio	Especificación (UNE-83-301)
pH	7	>= 5
Sulfatos, SO ₄ ²⁻	Inapreciable	<= 200 mg/l
Cloruros, Cl ⁻	ligeros indicios	<= 6 g/l
Hidratos de Carbono	nulo	0
Calcio, Ca ⁺⁺	36 mg/l	-

“Una vez fabricadas las probetas se mantienen en el lugar de fabricación durante 36 horas, enviándose posteriormente a las distintas cámaras de conservación.”

de Carreteras de Castilla y León Occidental.

Características: Máquina de clase 1. Marca: MOHR & FEDERHALL, con mandos hidráulicos y medida de fuerza por dinamómetro pendular. Consta de tres escalas de 1/1, 1/2 y 1/5 de la fuerza máxima, siendo esta de 200×10^3 kgf. El elemento de lectura tiene una apreciación de 0,25% de la capacidad máxima. Dispone de candecímetro B.V.G. y ajuste fino manual de caudal de aceite para aplicación de la carga de manera continua.

2.2.2. Prensa de rotura Z.

Prensa de laboratorio a pie de obra, de la Demarcación de Carreteras de Castilla y León Occidental.

Características: Máquina de clase 1. Marca: SUZPECAR, sistema de control de medida con módulo electrónico, M-3, equipado con captador de presión electrónico sobre el que actúa el lazo de servocontrol. Sistema de regulación automática de velocidad. Fuerza máxima: 150×10^3 kgf. Indicador de fuerza digital, con memorización de la fuerza máxima.

2.3. Probetas

Para el estudio comparativo de los resultados de rotura a compresión de probetas, se han utilizado tres series, con dos dosificaciones distintas. Se denominan Serie 1-a, Serie 1-b para la dosificación 1, y Serie 2 para la dosificación 2. Las probetas de cada serie se han ejecutado en días consecutivos.

2.3.1. Serie 1.

La Dosificación de los materiales, por m^3 , es:

Cemento	425 kg
Agua	110 l
Arena (0/4)	740 kg
Gravilla (3/8)	610 kg
Gravilla (8/12)	670 kg

Cemento tipo 1, Clase 45A. Resistencia característica exigida, $R_k=425$ Kg/cm².

2.3.1.1. Serie 1-a

Probetas ejecutadas los días 30 de Septiembre a 21 de Octubre. Cada día se fabrican seis probetas, que se distribuyen al azar para su curado: 3 en la cámara A y 3 en la cámara B. El número total de probetas es de 77, el descenso de cono, en promedio es 3 cm con desviación típica $s=1$.

2.3.1.2. Serie 1-b

Probetas ejecutadas en el período 4 de Noviembre al 20 de Noviembre de 1991. Cada día se fabrican 7 probetas, que se distribuyen al azar para su curado: 4 en la cámara A y 3 en la cámara B. Número de probetas fabricadas: 118.

Descenso de cono=3 cm y desviación típica $s=1$.

2.3.2. Serie 2.

La dosificación de los materiales por m^3 es:

Cemento	425 kg
Agua	115 l
Arena (0/4)	690 kg
Gravilla (3/8)	580 kg
Gravilla (8/12)	655 kg

Cemento tipo 1, Clase 45A. Resistencia característica exigida, $R_k=400$ Kg/cm².

Las probetas se han ejecutado en el período 4 de Noviembre al 15 de Noviembre. Cada día se fabrican 4 probetas, que se han curado en la cámara A. Número de probetas fabricadas: 34. Descenso de cono: 4 cm, y desviación típica $s=1$.

3. Resultados

Una vez fabricadas las probetas se mantienen en el lugar de fabricación durante 36 horas, enviándose posteriormente a las distintas cámaras de conservación. Todas las probetas que recoge este estudio se han ensayado a los siete días de su fabricación.



Cámara de conservación B.

3.1. Serie 1-a

De cada lote de seis probetas fabricadas cada día se envían tres a la cámara A y tres a la cámara B. Las probetas de la cámara B se someten al mismo proceso de curado, característico de la cámara B, anteriormente descrito. Las probetas de la cámara A se distribuyen: una (1) en una piscina, cuyas propiedades se reflejan en la Tabla I, exenta de cal. a-o, y dos (2) en el recinto de la cámara A, sin sumergir.

Todas las probetas de la cámara A se ensayan en la prensa M, mientras que las probetas de la cámara B se ensayan, una (1) en la prensa M y dos (2) en la prensa Z. Todo esto se resume en la Tabla III-1, junto con los valores medios de rotura a compresión simple, R_c (Kg/cm²) y desviación típica s (Kg/cm²) obtenidos. Se expresa el valor de la resistencia a compresión en Kg/cm² para mantener la

Tabla III-1. Rotura de probetas serie 1-a

Cámara de Curado	Tipo de curado	Prensa	NºProbetas	R_c	s
A	Sumergidas (a-o)	M	15	433	59
	Sin sumergir	M	26	472	67
B	Difusor	M	12	499	67
	Difusor	Z	24	555	48

Tabla III-2. Rotura de probetas. Serie 1-b

Cámara de Curado	Tipo de curado	Prensa	Nº Probetas	Rc	s
A	Sumergidas (a-1)	M	17	436	71
	Sumergidas (a-2)	M	13	440	60
	Sin sumergir	M	35	427	90
B	Difusor	M	17	466	68
	Difusor	Z	36	513	74

Tabla III-3. Rotura de probetas. Serie 2

Cámara de Curado	Tipo de curado	Prensa	Nº Probetas	Rc	s
A	Sin sumergir	M	17	466	69
	Sin sumergir	Z	17	544	56

Tabla IV.1. Análisis de Varianza. Serie 1-a

Fuente	G. de libertad	Suma cuadrados	Media cuadrados	test-F
Entre grupos	2	30708.446	15354.223	3.623
Dentro de grupos	50	211906.385	4238.128	p = .034
Total	52	242614.83		

Comparación	Dif. Medias	PLSD Fisher	test-F. Scheffe	t Dunnett
S vs. NS	-39.179	42.401	1.723	1.856
S vs. D	-66.5	50.648*	3.478*	2.637
NS vs. D	-27.321	45.638	.723	1.203

* Significativo al 95%

Tabla IV.1.a. Curado, Cámaras A y B. Prensa de Rotura M.

	G. de libertad	Valor t	Prob. (2-colas)	
	36	-1.161	.2534	
Grupos	Tamaño muestral	Media	Desv. Std	Error Std
NS	26	471.846	67.532	13.244
D	12	499.167	67.256	19.415

Tabla IV.1.b. Curado, Cámara A. Prensa de Rotura M.

	G. de libertad	Valor t	Prob. (2-colas)	
	39	-1.874	.0684	
Grupos	Tamaño muestral	Media	Desv. Std	Error Std
S	15	432.667	58.635	15.14
NS	26	471.846	67.532	13.244

misma analogía con las unidades en que se especifica la Resistencia Característica. En rigor debería expresarse en MPa.

3.2. Serie 1-b

El conjunto de las cuatro probetas curadas en la cámara A, del lote de 7 probetas fabricadas por día, se distribuyen para su curado de la siguiente manera: cuatro (4) en la cámara A, una (1) sumergida en una piscina con una concentración moderada de cal, Tabla I-1, a-1, dos (2) sin sumergir y una (1) en piscina A, saturada de cal; Tabla I-1, a-2. Todas las probetas se ensayan en la prensa M. Tres probetas restantes del lote se curan en la cámara B, de las cuales una (1) se ensaya en la prensa M, y las dos (2) restantes en la prensa Z. Los resultados de rotura a compresión se resumen en la Tabla III-2.

3.3. Serie 2

El proceso de curado del conjunto de probetas de esta serie se realiza en la cámara A, sin sumergir. Del lote de cuatro probetas fabricadas cada día, se ensayan dos (2) en la prensa M y dos (2) en la prensa Z. Los resultados se reflejan en la Tabla III-3.

4. Discusión

Se ha realizado un estudio estadístico de cada una de las series, estableciendo la relación entre las dos prensas de rotura M y Z, para el mismo procedimiento de curado y de los distintos tipos de curado en relación con la prensa de rotura M.

4.1. Serie 1-a

En el análisis de la varianza mediante el Test-F (4,5), para un nivel de confianza del 95%, se observan diferencias significativas entre los distintos tipos de curado, para la misma prensa de rotura M, esto es, probetas sumergidas en agua (S) exentas de cal, a-o, probetas sin sumergir (NS) en la cámara A, y las probetas curadas en un ambiente de agua difundida (D), cámara B. Mediante tests de comparaciones múltiples (se han utilizado los tests PLSD de Fisher, T de Scheffe y el t de Dunnett) se puede observar que estas diferencias se deben a la diferencia de rotura entre las probetas S y D. Realizado un Test-t para las otras parejas de curado se observa que entre las probetas NS y D, realizando un Test-t, las diferencias no son significativas, (p=0.25), mientras que entre las probetas S y NS se obtiene un valor p=0.06, para el Test-t, es decir, que reduciendo el nivel de significación al 94% se pue-

Tabla IV.1.c. Curado, Cámara B. Prensas de Rotura M y Z.

	G. de libertad	Valor t	Prob. (2-colas)	
	34	-2.88	.0068	
Grupos	Tamaño muestral	Media	Desv. Std	Error Std
M	12	499.167	67.256	19.415
Z	24	555.125	47.967	9.791

de considerar que las diferencias son significativas (6).

En lo que respecta al análisis de los resultados de las roturas de probetas con el mismo proceso de curado, cámara B, y ambas prensas, M y Z, las diferencias son muy significativas ($p=0.007$).

Por lo tanto se observa que hay diferencias notables no sólo en las prensas de rotura, sino también en el proceso de curado. Estas diferencias son más acusadas cuando se comparan los resultados correspondientes a las dos prensas de rotura para el mismo proceso de curado.

4.2. Serie 1-b

El análisis de la varianza para los cuatro grupos de curado, S' (sumergidas con concentración de cal moderada), NS (sin sumergir), CAL (sumergidas en agua saturada de cal), correspondientes a la cámara A, y D (curadas en la cámara B), todas ensayadas en la prensa M, no presentan

diferencias significativas. El análisis entre parejas de curado tampoco presenta diferencias significativas.

El análisis mediante el Test-t, entre las probetas curadas en la cámara B y ensayadas con las prensas M y Z presentan diferencias significativas ($p=0.03$).

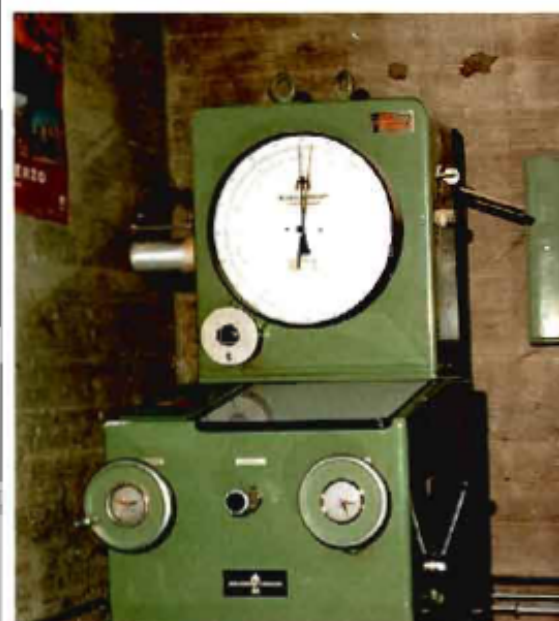
La Norma UNE 83-301-84 para el curado de probetas hace referencia a que el agua de curado de las balsas de inmersión debe estar saturada de cal cuando se fabrican probetas con cemento Portland sin adiciones. Sin embargo, es de destacar la ausencia de diferencias significativas entre los grupos S' y CAL a pesar de que las concentraciones de cal de ambas piscinas de curado son manifiestamente diferentes, Tablas III-2 y IV.2.

4.3. Serie 2

El análisis mediante el Test-t, del conjunto de probetas curadas en la cámara A, sin sumergir, y ensayadas en las prensas M y Z, indican que sus

Tabla IV-3. Curado, Cámara A.

	G. de libertad	Valor t
	32	-3.569
Grupos	Tamaño muestral	Media
M	17	466.353
Z	17	543.647



diferencias son muy significativas ($p=0.001$). (Tabla IV-3)

A la vista de los datos observados, en lo que se refiere a la comparación de los resultados entre ambas prensas de rotura, M y Z, y al mismo nivel de curado se constata para las tres series ensayadas que los valores de resistencia a compresión medidos en la prensa Z son superiores a los valores medidos en la prensa M; Tablas IV.1.c, IV.2.a, IV.3. Estas diferencias se estiman en un 12% superior para la prensa Z frente a la prensa M.

Dado que ambas prensas han sido contrastadas mediante una célula de carga patrón y que en ambas prensas la carga aplicada por unidad de tiempo es la misma, contrastada, así mismo, con un cronómetro, la anomalía en el resultado cabe atribuirlo al propio proceso de rotura. En la prensa de rotura M, una vez fijada la velocidad de carga, mediante el cadenciómetro, se dispone una válvula, que regula el caudal a una abertura tal que la carga aumenta uniforme y linealmente hasta llegar a un punto, el del límite elástico (7), en el que no es posible seguir la velocidad del cadenciómetro, a pesar de abrir la válvula del caudal de aceite. En la zona elástica parece razonable suponer que ambas máquinas de ensayo reflejen el mismo re-

Tabla IV-2. Análisis de varianza. Serie 1-b

Fuente	G. de libertad	Suma cuadrados	Media cuadrados	test-F
Entre grupos	3	17288.915	5762.972	.947
Dentro de grupos	78	474733.488	6086.327	$p = .422$
Total	81	492022.402		

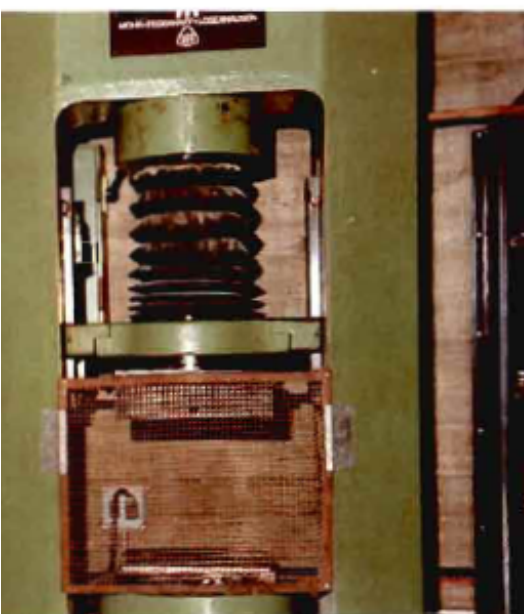
Comparación	Dif. Medias	PLSD Fisher	test-F. Scheffe	t Dunnett
S' vs. NS	8.825	45.921	.049	.383
S' vs. CAL	-3.887	57.23	6.095E-3	.135
S' vs. D	-29.824	53.278	.414	1.115
NS vs. CAL	-12.712	50.451	.084	.502
NS vs. D	-38.649	45.92	.936	1.676
CAL vs. D	-25.937	57.23	.271	.902

Tabla IV-2.a. Curado, Cámara B. Prensas de Rotura M y Z

	G. de libertad	Valor t	Prob. (2-colas)	
	51	-2.247	.029	
Grupos	Tamaño muestral	Media	Desv. Std	Error Std
M	17	465.706	68.287	16.562
Z	36	513.333	73.651	12.275

Prensas de Rotura M y Z.

Prob.(2-colas)	
.0012	
Desv. Std	Error Std
69.425	16.838
56.152	13.619



Prensa de rotura M.

sultado. Por tanto, es a partir del límite elástico donde se podrían explicar las diferencias de resistencias encontradas entre las dos máquinas de ensayo analizadas. Debe considerarse que la prensa Z utiliza un captador de presión como elemento de lectura. Atendiendo a los valores medios obtenidos, esta diferencia entre ambas prensas de rotura se puede expresar como $R_2 = 1.12 \times R_M$, entendiéndose que esta expresión sólo es válida para los valores de resistencias máximas observadas.

En lo que respecta a los procesos de curado, referido a la misma prensa de rotura M, se considera el análisis en dos apartados. Por una parte probetas curadas sin sumergir. Entre las probetas curadas en cámara con difusor (B) y curadas sin sumergir (A) no existen diferencias significativas; Tablas IV.1.a y IV.2. Esto permite admitir como adecuada una cámara de curado A de las características descritas, 2.1.1, que es la que dispone el Laboratorio del Servicio de Apoyo Técnico de la Demarcación de Carreteras de Castilla y León. Si es más riguroso, se puede afirmar que a la vista de los datos observados no se puede rechazar una cámara de estas características como cámara de curado. Esta cámara de conservación

cumple las especificaciones de la Norma UNE-83-301-84, en lo que a humedad relativa y temperatura se refiere. La Norma ASTM C511-80 (8) es más precisa, sin embargo, en cuanto a procedimiento para la obtención de la humedad relativa. Esta norma denomina a la cámara húmeda, en su apartado 2.2, como recinto de niebla y determina que la humedad relativa se consiga mediante la atomización o difusión del agua.

Las probetas curadas sumergidas en agua con distinta concentración de cal parecen presentar los mismos resultados de rotura y sin diferencias significativas con las probetas curadas sin sumergir, Tablas III.2 y IV.2. Esto refuerza la tesis de que pueda emplearse, indistintamente, como recintos de curado, balsas de inmersión o cámaras de curado tal o como se define en la Norma UNE 83-301-84.

El curado de probetas en balsas de inmersión es, sin embargo, más delicado y precisa un control más riguroso. Como se ha indicado más arriba, las probetas curadas en agua con moderada concentración de cal, no presentan diferencias significativas, en lo que se refiere a su resistencia, frente a las probetas curadas en agua saturada de cal. Sin embargo, el agua con moderada concentración de cal en presencia de las probetas de curado, altera su contenido de cal, pues en su seno se produce precipitación de carbonato cálcico lo que lleva aparejado que la concentración de cal se reduzca en un tiempo muy corto. La concentración de cal medida de la piscina a-1, al final del proceso de curado, es de 4 mg/l.

Por otra parte, se ha observado que existen diferencias significativas, a un nivel de significación del 94%, entre las probetas sumergidas con agua exenta de cal y sin sumergir; Tabla IV.1.b. Ciertamente la norma de ensayo, indica que para probetas fabricadas con cemento sin aditivos, el agua de curado debe estar saturada de cal, por lo tanto no es de extrañar estos resultados. Pero esto obliga a indicar el tipo de cemento utilizado en la fabricación de probetas, cuando se envíen las mismas a cámaras de conservación que dispongan de este sistema de curado, lo cual exige un requisito adicional, lo que no deja de ser una dificultad añadida.

Todos estos hechos ponen de manifiesto que el curado en balsas de inmersión impone un análisis periódico del agua de curado. Evidentemente, realizar el análisis del agua de curado de manera periódica resulta engorroso para un laboratorio de control de

“
Las probetas curadas en agua con moderada concentración de cal, no presentan diferencias significativas, en lo que se refiere a su resistencia, frente a las probetas curadas en agua saturada de cal.”

calidad, sobre todo si este laboratorio está ubicado a pie de obra. De aquí que en la mayoría de los laboratorios de este tipo se los requiera, razonablemente y con buen criterio, que dispongan de cámaras de curado donde la humedad requerida se consiga con difusores de vapor de agua.

En este sentido, la Norma UNE 83-301 define como “precauciones” una serie de puntos para las balsas de inmersión. Ciertamente, y en lo que respecta al análisis de probetas aquí expuesto, teniendo en cuenta todos y cada uno de ellos, no existen diferencias significativas entre las cámaras de curado y las balsas de inmersión para la misma prensa de rotura, en este caso la prensa M, Tabla IV.2. No obstante, en nuestra opinión, la Norma debería ser más rigurosa y establecer la cámara de curado como lugar patrón para la conservación de probetas y, en su defecto, utilizar balsas de inmersión donde las precauciones a cumplir por el agua de dichas balsas sean puntos de obligado cumplimiento.

Conviene resaltar, por último, las diferencias que se observan entre los valores medios obtenidos en el conjunto de probetas de las Series 1-a y 1-b, tomando como referencia los valores obtenidos en la rotura en las prensas M y Z y para el mismo proceso de curado, Tablas III.1 y III.2. Ambas series corresponden a lotes de hormigón de la misma dosificación. No obstante la diferencia de temperatura, en promedio, en el proceso de fabricación ha sido entre ambas series de 10 °C. Por otra parte, las temperaturas de curado de la Serie 1-a en la cámara B ha sido, en promedio, de 17°C mientras que la temperatura de curado para la Serie 1-b, en la cámara B ha sido de 13°C. Es posible que estas diferencias de temperatura expliquen los resultados distintos y menores observados en la Serie 1-b frente a la Serie 1-a.

“**P**or lo que se refiere a las cámaras de conservación, sería necesario considerar lugar de conservación patrón la cámara de curado que se define en la Norma UNE-83-301 o, como se define de manera más precisa, en la Norma ASTM-C511-80.”

5. Conclusiones

Se resume, como conclusión, los dos aspectos fundamentales considerados en el presente trabajo para tratar de explicar las diferencias encontradas en la rotura de probetas de hormigón entre diferentes laboratorios de ensayos. Con este fin, partiendo de series de probetas de hormigón fabricados por los mismos operarios y la misma consistencia y dosificación para cada serie, deducir el comportamiento de dos máquinas de ensayo con sistemas de rotura diferentes: hidráulica y electrónica, y la influencia de diferentes procesos de curado.

En cuanto a las máquinas de ensayo se observa la diferencia significativa de los resultados obtenidos entre ambas, siendo menor el valor de resistencia obtenido por las máquinas hidráulicas frente a las electrónicas. Esta diferencia se estima en el 12%. Estimada como válida una diferencia de este orden de magnitud, la comparación de los resultados de rotura de probetas obliga a considerar la diferencia encontrada. La cuestión se plantea entre cuál de los dos tipos de prensas de rotura se establece como patrón, pues tanto la prensa hidráulica como la prensa electrónica se ajustan a las especificaciones exigidas por la Norma UNE 83-304-84. Sin embargo, esta Norma explica, en sus apartados 3.3 y 3.4, la aplicación de la carga de manera tal que, de las dos prensas objeto de análisis, es la prensa hidráulica la que más fielmente se ajusta a la especificación requerida. No obstante, las prensas de rotura del tipo de las que en este trabajo se llaman electrónicas son cada vez más frecuentes en el mercado. Por tanto, a tenor de los resultados aquí observados, sería necesario contrastar en ma-



yor medida estas diferencias encontradas.

Por lo que se refiere a las cámaras de conservación, como se indica más arriba, sería necesario considerar lugar de conservación patrón la cámara de curado que se define en la Norma UNE-83-301 o, como se define de manera más precisa, en la Norma ASTM-C511-80.

Referencias

1. Norma UNE 83-301-84. *Fabricación y Conservación de Probetas.*
2. Norma UNE 83-304-84. *Rotura por Compresión.*
3. Norma UNE 7 103. *Determinación de un Índice de Consistencia de los Hormigones Frescos, por el método del cono Abrams.*
4. D. Peña. *Estadística, Modelos y*

Métodos. Alianza Editorial (1989).

5. G.A.F. Seher. *Linear Regression Analysis.* Wiley and Sons (1977).
6. F. Faragó, F. Leal. *Elementos de Estadística Aplicada.* Industrial Litográfica. Valladolid. (1976).
7. P. Giménez Montoya, A. García Meseguer, F. Morán Cabré. *Hormigón Armado.* Gustavo Gili, S.A. (1987).
8. Norma ASTM C511-80. *Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes.*

* Mi agradecimiento al Prof. B. Salvador, del Departamento de Estadística de la Universidad de Valladolid, por su ayuda en el tratamiento estadístico de los datos