



## **EVALUACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA**

ZERBINO, Raúl<sup>1</sup>, GIACCIO, Graciela<sup>2</sup>, MILANESI, Carlos A.<sup>3</sup>, ORLANDO, Sebastian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CONICET. LEMIT-CIC, Fac. Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina, zerbino@ing.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> CIC Investigadora, LEMIT, Fac. Ingeniería UNLP, La Plata, Argentina,

[ggiaccio@ing.unlp.edu.ar](mailto:ggiaccio@ing.unlp.edu.ar) <sup>3</sup> Cementos Avellaneda S.A., CABA Argentina,  
[cam@cavellaneda.com.ar](mailto:cam@cavellaneda.com.ar); [so@cavellaneda.com.ar](mailto:so@cavellaneda.com.ar)

### **RESUMEN**

La medida de la resistencia a compresión en hormigones de alta o muy alta resistencia presenta algunas singularidades. El tamaño de agregados posibilita el uso de probetas de menor tamaño, las que a la vez se adecuan mejor a la capacidad de carga de las prensas. Aunque se ha generalizado el ensayo de cilindros de 100 mm de diámetro, para resistencias mayores a 80 MPa, los encabezados pueden presentar dificultades. Una alternativa es el uso de cubos. Las referencias acerca de la relación entre la resistencia determinada sobre cilindros y cubos para tales niveles de resistencia son limitadas. Este trabajo analiza resultados obtenidos sobre cilindros de 100x200 mm y de 75x150 mm y cubos de 50 y 70 mm de arista, con diferentes sistemas de encabezado (placas de neopreno de dureza Shore 70 y 90, mortero de cemento y pulido), sobre hormigones con resistencias entre 60 y 120 MPa.

**Palabras clave:** hormigón de alta resistencia; resistencia a compresión, geometría de probetas, encabezado.

### **INTRODUCCION**

Desde hace muchos años se han logrado avances en el desarrollo y aplicación de los hormigones de alta resistencia (HAR), más recientemente se han diseñado hormigones de muy alta resistencia (HMAR) e incluso materiales a base de cemento portland calificados con niveles de ultra alta resistencia (HUAR). Si bien el logro de niveles de alta o muy alta resistencia a compresión con materiales locales siempre constituye un desafío, existen muchas referencias y guías de referencia para su obtención [1-4]. En la actualidad, el CIRSOC 201 y la reciente norma IRAM 1666 consideran clases resistentes hasta 60 MPa y 100 MPa, respectivamente, y existen códigos y reglamentos como el *fib* Model Code 2010 [5] que incluye hormigones de hasta 120 MPa. Desde el punto de vista de la puesta en obra y, en particular, del control de calidad la determinación de la resistencia a compresión en el caso del HAR (> 60 MPa) o HMAR (> 100 MPa) presenta algunas singularidades que merecen ser valoradas.

Para alcanzar tales niveles de resistencia, además de seleccionar en forma adecuada el tipo de agregado, se debe reducir su tamaño; por ejemplo, no superar tamaños máximos de 20 mm y 12 mm en caso de HAR y HMAR, respectivamente. Aïtcin [6] plantea hasta 70 MPa agregados entre 20 y 25 mm, para 100 MPa entre 14 y 20 mm y para resistencias mayores a 125 MPa agregados menores a 14 mm.

El tamaño de agregados empleado posibilita el uso de probetas de menor tamaño, las que a la vez se adecuan mejor a la capacidad de carga de las prensas que disponen muchos laboratorios. En este sentido se ha generalizado el ensayo de cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Sin embargo, en especial para niveles de resistencia por encima de 80 MPa, los distintos tipos de encabezado pueden presentar dificultades o generar incluso resultados erróneos. La norma ASTM C1856/C1856M [7] establece que para ensayar UHPC (hormigones de resistencia a compresión  $\geq 120$  MPa y tamaño máximo 5 mm) se deben utilizar cilindros de 75 x 150 mm, cuyas cabezas deben ser pulidas.

El sistema de encabezado más empleado en la actualidad por razones prácticas y ecológicas, al reemplazar al encabezado con mortero de azufre, consiste en el uso de placas de neopreno, pero no existen mayores antecedentes sobre en qué medida la dureza del pad puede afectar los resultados. La actual norma IRAM 1709 califica la aptitud de los pads en base a la comparación con encabezados de mortero de cemento o de azufre, aunque el campo de aplicación de esta norma sólo llega a hormigones de 85 MPa de resistencia característica. Tampoco existen referencias sobre la cantidad de ensayos sucesivos admisibles para cada par de pads en el caso de este tipo de hormigones, donde es de esperar que el deterioro de los mismos sea más acentuado. Otra alternativa es el uso del pulido, sin embargo, se han señalado dificultades con esta metodología [8], lo que parecería estar vinculado a la imposibilidad de alcanzar los niveles de terminación y planitud requeridos para mezclas de alta resistencia, lo que daría lugar a defectos en el mecanismo de rotura con los consecuentes errores en los valores de resistencia.

Una alternativa, adoptada en varios países, es el uso de probetas cúbicas, cuya arista se podría ajustar conforme el tamaño máximo de agregado empleado. No obstante, tampoco existen mayores referencias en cuanto a las relaciones entre la resistencia determinada sobre cilindros de distinto diámetro o cubos de distintas dimensiones para niveles de alta o muy alta resistencia, las que sin dudas difieren de lo tradicionalmente indicado en la literatura que corresponde a hormigón convencional elaborado con tamaños de agregado de 25 mm o mayores. Se ha comprobado que la relación cubo/cilindro depende del tipo y tamaño de agregado y se modifica tanto con el nivel de resistencia de la matriz (disminuyendo en niveles de alta resistencia) como en la medida que exista daño en el material, incluso como la microfisuración generada por la contracción por secado [9].

Con el desarrollo de los hormigones de alta resistencia y más adelante con la aparición de los HUARRF se han encarado varios estudios con el fin de discutir acerca de las bondades de los diferentes tipos de probetas y encabezados para la evaluación y control de hormigones con tales niveles de resistencia. Varios trabajos verifican la existencia de un efecto tamaño también en compresión destacando que son muchos los factores intervinientes por lo cual es necesario establecer relaciones empíricas en los casos que se demande un factor de corrección. En un extenso estudio sobre HARRF [10] concluyen que es posible emplear diferentes tipos y tamaños de probetas, y diferentes encabezados, en el caso de los cilindros, con valores aceptables de dispersión en todos los casos. Los autores indican que los cilindros de menor volumen incrementan ligeramente los valores de resistencia medidos, algo similar ocurre si se comparan ensayos con placas de neopreno y aquellos con encabezado pulido o con acabado de mortero. Estos dos últimos son los menos cuestionados, aunque, como se verá más adelante, pueden existir factores que den lugar a valores erróneos aumentando la dispersión. La relación de resistencias entre cubos y cilindros es muy cercana a 1 y resulta particularmente interesante el cubo de 70 mm, ya que en los cubos de 50 mm de arista la dispersión de resultados fue mayor.

En otra experiencia [11] dentro de un amplio estudio donde se analizaron diferentes variables que inciden sobre la capacidad mecánica de hormigones con resistencias entre 60 y 100 MPa, como los materiales componentes, el curado y los procedimientos de ensayo, encontraron una relación igual a 1,06 entre cilindros de 100x200 mm respecto de

los de 150x300 mm, y de 1,025 al comparar los resultados obtenidos empleando moldes de acero respecto de los de plástico, y otra de 1,01 entre los ensayos realizados con pad de neopreno y los que emplearon encabezados de mortero. Estos y otros trabajos muestran la inquietud de la comunidad científica y de la industria respecto de la forma de evaluación de la resistencia a compresión y control de calidad para hormigones con resistencias superiores a 80 MPa. Es interesante observar que la norma ASTM C1231/C1231M – 15 [12] no considera el uso de placas de neopreno para resistencias mayores a 80 MPa, lo que deja abierto un área de vacancia.

Relacionado a esta temática, varios estudios de los últimos años tratan sobre la evaluación de la resistencia a compresión en mezclas de Ultra Alta Resistencia (> 150 MPa); en estos casos es predominante el uso de cubos aunque autores [13] que estudiaron el uso de cilindros consideran que empleando encabezados de morteros dan resultados aptos en la medida en que el espesor de mortero de encabezado no supere los 3 mm de espesor.

Recientemente Mansilla, G.P et al [14] publicaron un amplio estudio sobre el diseño, producción y colocación de un hormigón H-110 empleado en la ejecución de una estructura en nuestro país. Compararon distintos encabezados, refrentado o pulido de las caras, pasta de azufre de alta resistencia y placas de elastómero (dureza shore 70). Los mayores valores de resistencia los obtuvieron usando placas de elastómero seguidos por el pulido y, bastante menores, la pasta de azufre. Concluyen que el uso de placas de elastómeros resulta confiable para estos niveles de resistencia.

Este trabajo presenta los primeros resultados de un programa experimental orientado a favorecer la discusión acerca de las metodologías a adoptar para el control de calidad de HAR y HMAR y la búsqueda de información para el enriquecimiento de las normas vigentes.

## **PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Se elaboraron hormigones buscando niveles de resistencia característica a 28 días del orden de 60, 80 y 100 MPa, que se identifican como H-60, H-80 y H-100, respetivamente, elaborados con agregados de 12 mm de tamaño máximo. Se moldearon probetas de diferente forma y tamaño para evaluar la resistencia a compresión, cilindros de 75x150 mm y de 100x200 mm, y cubos de 50 y 70 mm de arista. Se utilizaron diferentes sistemas de encabezado; en el caso de los cilindros placas de neopreno de dureza Shore 70 y 90, cabezas pulidas y mortero de cemento; los cubos se ensayaron, como es habitual, girando 90° la probeta. Además de la condición habitual de contacto directo entre probeta y cabezal de la máquina, también se ensayaron cubos interponiendo placas de neopreno de distinta dureza en forma similar a los cilindros. En la mayoría de los casos se realizaron hasta 10 ensayos para cada condición para comparar los valores y la variabilidad de resultados. Se trató de un ambicioso programa donde para cada mezcla se llenaron 30 cilindros de 100x200 mm, 20 cilindros de 75x150 mm, 30 cubos de 70 mm y 30 cubos de 50 mm. Las Figs. 1 y 2 muestran la etapa de elaboración y los sistemas y dispositivos de encabezado.



**Figura 1.** Vista de los moldes empleados



**Figura 2.** Vista de los dispositivos para ensayos de compresión.

Como se observa en la fotografía izquierda inferior de la Figura 2, y discutirá más adelante, durante el ensayo de H-100 el daño de algunas placas fue importante llegando incluso a la necesidad de utilizar un juego de placas para cada ensayo. En el centro se observan las placas usadas para el ensayo de los cubos de 50 mm de dureza Shore 70 (rojas) y 90 (traslúcidas). Para el ensayo de los cubos de 50 mm de arista fue necesario fabricar un suplemento para asegurar el centrado durante el ensayo. A la derecha de la figura 2 se observa el suplemento de fijación de los cilindros de 75 mm necesario para realizar el pulido de las cabezas de las probetas.

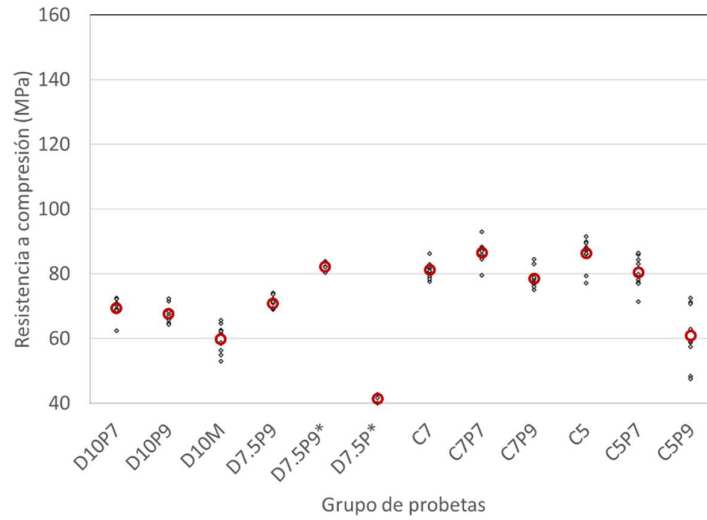
La Tabla 1 sintetiza el programa de ensayos para cada mezcla indicando la identificación de cada grupo, el tipo y dimensiones de las probetas y los encabezados adoptados. En cuanto a la elaboración de las mezclas en el H-60 se empleó una dosificación ya probada en obra preparada con cemento CPN50 y la adición de filler calcáreo, relación agua/cemento 0,34 y piedra partida granítica. La mezcla tuvo un extendido igual a 650 mm y un contenido de aire incorporado igual a 3,2 %. En el H-80 se emplearon el mismo cemento y agregado grueso, sin la adición de filler calcáreo, la relación agua/cemento fue 0,27, resultando un extendido igual a 700 mm y el contenido de aire incorporado 1,8 %. Para elaborar el H-100 se empleó basalto triturado, de 12 mm de tamaño máximo, relación agua/cemento 0,31, adicionando al CPN50 microsílíce y arcilla activada, resultando un extendido igual a 720 mm y un contenido de aire igual a 3,3 %.

**Tabla 1.** Tipo de probetas y encabezados empleados.

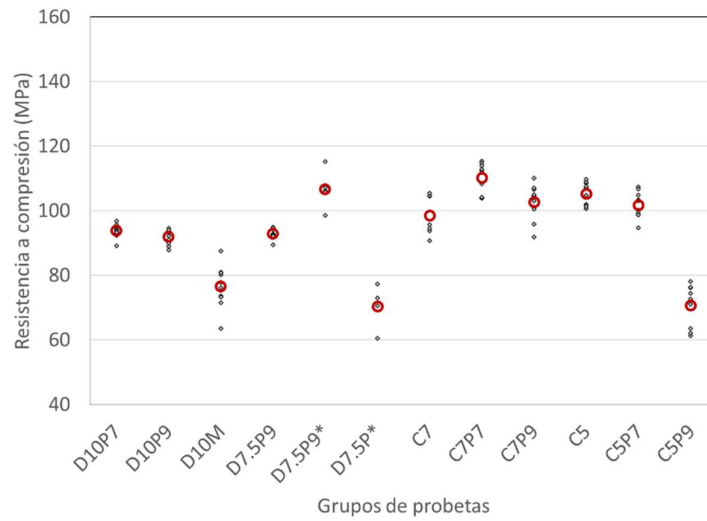
Identificación	Tipo de probeta	Dimensiones mm	Terminación de las cabezas
D <sub>10</sub> P <sub>7</sub>	Cilindro	100x200	Placas de neopreno dureza shore 70
D <sub>10</sub> P <sub>9</sub>			Placas de neopreno dureza shore 90
D <sub>10</sub> M			Encabezado con mortero de cemento
D <sub>7.5</sub> P <sub>9</sub>		75x150	Placas de neopreno dureza shore 90
D <sub>7.5</sub> P			Pulido
C <sub>7</sub>	Cubo	70	---
C <sub>7</sub> P <sub>7</sub>			Placas de neopreno dureza shore 70
C <sub>7</sub> P <sub>9</sub>			Placas de neopreno dureza shore 90
C <sub>5</sub>		50	---
C <sub>5</sub> P <sub>7</sub>			Placas de neopreno dureza shore 70
C <sub>5</sub> P <sub>9</sub>			Placas de neopreno dureza shore 90

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

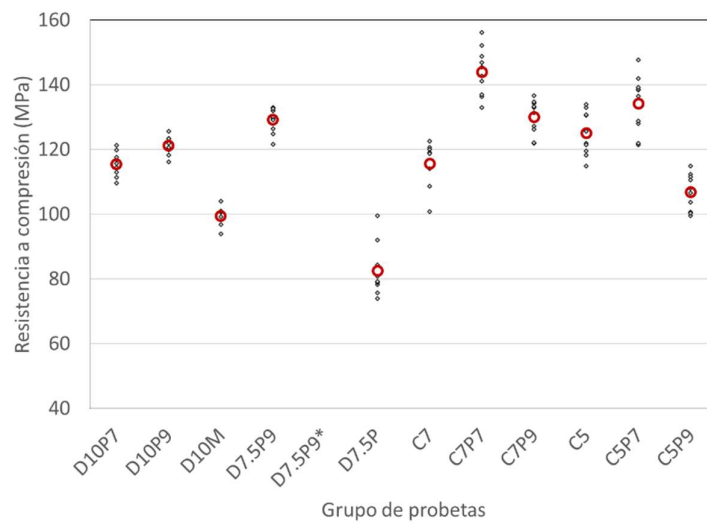
Las Figuras 3 a 5 sintetizan los resultados de cada hormigón obtenidos para cada grupo de probetas. Se indican los valores individuales (rombos pequeños) y el valor medio (círculo hueco). En la Tabla 2 se indican los valores medios junto con la desviación standard, el coeficiente de variación y el rango expresado en porcentaje del valor medio.



**Figura 3.** Influencia del encabezado sobre la resistencia a compresión. H-60



**Figura 4.** Influencia del encabezado sobre la resistencia a compresión. H-80



**Figura 5.** Influencia del encabezado sobre la resistencia a compresión. H-100

**Tabla 2.** Resultados de los ensayos de compresión

Grupo	H-60				H-80				H-100			
	f <sub>c</sub> MPa	DS MPa	CV %	R %	f <sub>c</sub> MPa	DS MPa	CV %	R %	f <sub>c</sub> MPa	DS MPa	CV %	R %
D <sub>10</sub> P <sub>7</sub>	69,4	2,8	4	14	93,8	2,1	2	8	115,4	3,6	3	10
D <sub>10</sub> P <sub>9</sub>	67,6	2,7	4	12	91,9	2,3	3	7	121,2	2,8	2	8
D <sub>10</sub> M	59,8	4,2	7	21	76,5	6,6	9	31	99,5	3,3	3	10
D <sub>7.5</sub> P <sub>9</sub>	70,8	2,0	3	7	92,8	1,5	2	6	129,1	3,8	3	9
D <sub>7.5</sub> P	41,4*	1,4	3	6	70,3*	7,1	10	24	82,5	8,3	10	31
D <sub>7.5</sub> P <sub>9</sub>	82,2*	1,4	2	4	106,6*	5,9	6	16	---	---	---	---
C <sub>7</sub>	81,2	2,5	3	11	98,5	6,1	6	15	115,6	7,4	6	19
C <sub>7</sub> P <sub>7</sub>	86,4	3,4	4	16	110,1	4,7	4	11	143,9	7,4	5	16
C <sub>7</sub> P <sub>9</sub>	78,5	3,0	4	12	102,6	5,5	5	18	130,0	5,3	4	11
C <sub>5</sub>	86,2	4,6	5	17	105,2	3,5	3	9	125,0	6,7	5	15
C <sub>5</sub> P <sub>7</sub>	80,4	5,0	6	19	101,7	4,0	4	12	134,2	8,8	7	20
C <sub>5</sub> P <sub>9</sub>	60,9	9,3	15	41	70,6	6,6	9	24	106,8	5,6	5	15

\* Ensayos a 56 días  
DS: desviación standard    CV: coeficiente de variación    R: rango =  $(f'_{c_{max}} - f'_{c_{min}}) / f'_{c_{prom}}$

La Figura 3 muestra los resultados de resistencia del hormigón H-60. En el caso de los cilindros de 100 mm de diámetro encabezados con placa de neopreno los valores resultan ligeramente mayores que los obtenidos con encabezados con mortero de cemento, no existiendo mayores diferencias entre las placas de distinta dureza. Comparando los cilindros de 75 mm y los de 100 mm encabezados con placa 90 Shore, la resistencia es ligeramente mayor en los primeros (efecto tamaño).

Contrariamente a lo esperado se encontró una fuerte disminución de resistencia en las probetas pulidas, lo que se asocia a las dificultades del logro de una perfecta planitud. Este hecho ya fue observado con anterioridad en un hormigón H-50 [8]. Es claro que los encabezados con placa de neopreno resultan libres de los defectos que pueden presentar los otros tipos de encabezados.

Considerando los cubos, en términos generales la resistencia medida resultó mayor, producto del menor tamaño de probeta y la menor esbeltez. En el cubo de 70 mm los valores son similares teniendo en cuenta el rango de variabilidad. En el caso del cubo de 50 mm en el contacto directo da ligeramente superior disminuyendo con las placas Shore 70 y mucho más con el de Shore 90, donde se observó una rotura frágil con resultados que se alejan del rango de variación. En consecuencia, en el caso de cubos, con moldes adecuados de excelente planitud, no se justifica el empleo de placas de neopreno. Asimismo, si por la calidad del molde fuera necesario el uso de placas, resulta muy importante la elección de la placa a utilizar.

Mas allá de las diferencias observadas es interesante notar que en todos los casos, a excepción de C<sub>5</sub>P<sub>9</sub>, los coeficientes de variación fueron menores o iguales al 7%.

La Figura 4 muestra los resultados de resistencia del hormigón H-80. Los cilindros de 100 mm de diámetro encabezados con placa de neopreno arrojan resistencias mayores que los obtenidos con encabezados con mortero de cemento, atribuible a imperfecciones en el mortero de encabezado. Nuevamente, no se aprecian mayores diferencias entre las placas de distinta dureza. Comparando los cilindros de 75 mm y los de 100 mm los valores resultan

similares. Una vez más, se observa la dificultad en el pulido arrojando los menores valores de resistencia.

Considerando los cubos, nuevamente en términos generales, la resistencia medida resulto algo mayor que en los cilindros. En el cubo de 70 mm los valores son algo mayores con las placas mientras que en el cubo de 50 mm se repite el comportamiento observado en el H-60. En los únicos casos donde el coeficiente de variación supero el 6 % fueron D<sub>10M</sub> (9%) D<sub>7,5P</sub> (10%) y C<sub>5P<sub>9</sub></sub> (9%).

La Figura 5 muestra los resultados de resistencia del hormigón H-100. Se observa que tanto las diferencias de resistencia en los distintos grupos como la variabilidad dentro de cada grupo resultan marcadamente mayores que en los hormigones de menores resistencias.

Los cilindros de 100 mm de diámetro encabezados con placa de neopreno arrojaron resistencias mayores que los obtenidos con encabezados con mortero de cemento, nuevamente el mortero no fue el apropiado, sin que se aprecien mayores diferencias entre las placas de distinta dureza. Comparando los cilindros de 75 mm y los de 100 mm, los valores resultan mayores para la probeta de menor diámetro. Nuevamente, se observa la dificultad en el pulido mostrando una drástica caída en los valores de resistencia, indicativo de una terminación superficial / planitud defectuosa.

Considerando los cubos, se observa una gran variabilidad para cada grupo. El neopreno de dureza Shore 70, en todos los casos da resultados mayores. Estos ensayos se consideran anómalos, ya que se observa una gran deformación de la placa la que en muchos casos al cabo de un solo ensayo debe ser descartada; parecen ensayos que distorsionan los resultados. No obstante, se remarca que los coeficientes de variación fueron bajos, correspondiendo los mayores a C<sub>5P<sub>7</sub></sub> (7%) y D<sub>7,5P</sub> (10%).

Estos resultados estarían en concordancia con ASTM [12], que sólo permite el uso de placas de neopreno para resistencias que no excedan los 80 MPa.

Es evidente que en niveles de muy alta resistencia la evaluación del hormigón es mucho más crítica y deben extremarse las medidas para evitar distorsión en los resultados. No obstante, es interesante notar que, en cada grupo, el coeficiente de variación resultó aceptable, en la mayoría de los casos por debajo del 5%.

Este primer estudio muestra que existen varias alternativas para valorar la resistencia en niveles superiores a los 80 MPa, pero muchas de ellas deben ser empleadas con cautela y/u optimizadas. En el caso de los cilindros, se requieren tanto mejoras en la materialización de los encabezados de cemento como una verificación de la planitud en las caras pulidas para determinar las grandes diferencias observadas. El uso de cubos resulta una opción muy práctica, ya que, en la medida que se disponga de moldes de alta calidad en cuanto a su planitud, simplifica mucho la operación y evita el uso de placas de neopreno. Además, para estos niveles de resistencia y tamaños de agregados, las diferencias con los cilindros se reducen marcadamente. Al menos al momento no se verificaron mejoras que justifiquen el empleo de cubos de arista menor a 70 mm.

Sea cual fuera la opción elegida, ya que en casi todos los casos los CV fueron muy bajos, es probable que resulte viable a los fines del control de producción, pero no ha de olvidarse que la relación entre el sistema o tipo de probeta elegida y las probetas de referencia no será independiente del nivel resistente del hormigón y tamaño y tipo de árido, y como se observó aquí, también el tipo de placa de neopreno, en caso que la incluyera, por lo cual, no es posible pretender generalizar en cuanto a factores de corrección.

## CONCLUSIONES

A partir de estas primeras experiencias surgen las siguientes conclusiones

Existen varias alternativas para valorar la resistencia del hormigón para niveles comprendidos entre 60 y 120 MPa, tanto empleando cilindros como cubos.

La posibilidad de uso de probetas de menores dimensiones que brinda el hecho que el tamaño siempre es menor a 19 mm tiene como ventajas no sólo la posibilidad de emplear prensas de menor capacidad sino el logro de encabezados de mejor terminación en el caso de los cilindros.

El uso de cubos tiene la ventaja de asegurar una buena planitud en las cabezas con el hecho adicional que por el pequeño tamaño de agregado y elevado nivel de la matriz la relación entre cubos y cilindros es bastante cercana a la unidad.

Más allá de las diferencias encontradas se destaca que en todos los casos los coeficientes de variación resultaron pequeños, en general menores al 10 % y en los casos más habituales menores al 5 %, por lo que cualquiera de ellos podría ser aplicado en un control de calidad.

Hay que decir que para usar la relación entre diferentes tamaños depende del hormigón, tanto resistencia como agregado.

## REFERENCIAS

- [1] ACI 363R-92, "State-of-the-art report on high-strength concrete", Reported by ACI Committee 363, (1997) p. 55.
- [2] ACI 363.2R-98 "Guide to quality control and testing of high-strength concrete", Reported by ACI Committee 363 (1998) p.18.
- [3] Giaccio, G., Zerbino, R. "Hormigones de alta performance", en Hormigones Especiales, Capítulo 2, Ed. E. Irassar, AATH, Argentina. (2004) pp. 17-55.
- [4] Zerbino, R., Giaccio, G., Torrijos, M.C. "Hormigones de ultra alta resistencia reforzados con fibras", VII Congreso Internacional, 21ª Reunión Técnica, AATH, V1, (2016) 259-266.
- [5] fib Model Code 2010 – "Final draft. fib CEB-FIP bulletin 65-66". Fédération Internationale du Béton, Switzerland, (2012).
- [6] Aitcin, P.C., "High-performance concrete", E & FN Spon, London, (1998) p. 591.
- [7] ASTM: C1856/C1856M – 17 "Standard practice for fabricating and testing specimens of ultra-high performance concrete".
- [8] Milanesi, C., Saavedra, J.M., Kaminsky, H.J., Fava, C., Falcone, D., Herrera, G., Hours F., Bossio, P. Rossetti, A., Giaccio, G., Zega, C., Torrijos M.C., Vivas, J.C., Zerbino R. "Uso de placas de neopreno para la evaluación de la resistencia a compresión del hormigón", IX Congreso Internacional y 23ª Reunión Técnica AATH, (2020) 623-630.
- [9] Di Maio, A., Giaccio, G. Zerbino, R. "Failure mechanism of concrete, combined effects of coarse aggregate and specimen geometry". Const Build Mat 10 (8): (1997) 571-575.
- [10] Graybeal, B., Davis M. "Cylinder or cube: strength testing of 80 to 200 MPa (11.6 to 29 ksi) ultra-high-performance fiber-reinforced concrete" ACI Materials Journal, V. 105, N. 6, (2008) 603-609.
- [11] French, C.W., Mokhtarzadeh, A. "High strength concrete: effects of materials, curing and test procedures on short-term compressive strength", PCI Journal V: 38. I: 3, (1993) 76-87.
- [12] ASTM, "Standard practice for use of unbonded caps in determination of compressive strength of hardened cylindrical concrete specimens", ASTM C1231/C1231M (2015)
- [13] Lessard, M., Challal, O., Aitcin, P.C. "Testing high-strength concrete compressive strength" ACI Materials Journal, V: 90, I: 4, (1993) 303-307.
- [14] Mansilla, G. P., Corallo, P., Fornasier, G., Gebert, F., Martínez Cleres, L., Mazzola, M., Ríos, D., Riveros, E., Manduca, R., Cañari, J., Ríos, M., "Diseño, producción y colocación del hormigón de mayor resistencia en Argentina". Revista Hormigón, 61, (2022) 52–71.