

Estudio del sistema de encabezado de probetas cilíndricas de hormigón con placas elastoméricas.

Ing. Marcelo Barreda. *Docente Investigador Área Estructuras y Materiales de Construcción¹.*

Natalia Alderete. *Becaria de Investigación Área Estructuras y Materiales de Construcción¹.*

Prof. Jorge Sota. *Docente Investigador Área Estructuras y Materiales de Construcción¹.*

¹LEMaC – Centro de Investigaciones Viales – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata – Argentina

Este trabajo evalúa el ensayo a compresión con placas elastoméricas y sus diferencias con respecto al encabezado tradicional con azufre. En este sentido se destacan los factores ambientales que implica la utilización del azufre en el ensayo y las medidas de seguridad e higiene a tener en cuenta durante la realización del mismo.

La investigación pone de manifiesto que el sistema de encabezado con placas de neopreno podría conducir a una forma ágil, optimizada y confiable de la evaluación de la resistencia a compresión, la cual es una de las características básicas del hormigón endurecido. El análisis indicó una buena correlación entre los dos métodos.

1. Introducción

El ensayo a compresión de probetas cilíndricas de hormigón tiene como finalidad principal determinar, con la mayor precisión posible, la capacidad del hormigón para soportar esfuerzos de compresión uniaxiales. Idealmente el método de ensayo a emplear no deberá influenciar en la determinación del resultado, por lo tanto antes de efectuar el ensayo a compresión es necesario tratar las bases de los testigos y probetas de hormigón de forma tal que las mismas resulten superficies planas y paralelas entre sí, y al mismo tiempo normales al eje longitudinal de la probeta. Este resulta un

paso primordial y de suma importancia ya que permita una distribución uniforme de la carga.

El encabezado está regulado según norma se puede efectuar mediante dos métodos:

- a. ASTM C 617[1], que implica la utilización de un mortero de azufre, compuesto por arena silíceo o cuarzo, grafito y arena en distintas proporciones. Este mortero una vez fundido se utiliza para lograr que las bases resulten planas y paralelas. Luego de lo cual se procede al ensayo de compresión.
- b. ASTM 1231[2], que establece los pasos a seguir para el empleo de placas elastoméricas. La preparación de las bases de las probetas que se ensayarán con este método es casi inexistente. Sin embargo, se presentan ciertas limitaciones o requisitos en relación a la aceptación de las probetas o testigos ya que se deben medir la perpendicularidad de los mismos y las depresiones en las bases con límites bastantes estrictos en cuanto a las desviaciones de los mismos. Son estas las únicas fronteras que se deben traspasar, ya que luego de verificar las características mencionadas se puede realizar el ensayo colocando las placas en los dos retenes metálicos (superior e inferior) y ubicando la probeta entre las placas de elastómero (figuras 1 y 2). Operación que demanda unos pocos segundos, es rápida y simple.

■ **Figura 1. Retén metálico.**



■ **Figura 2. Placas de elastómero.**



Como objetivo primordial se analizará la relación entre el encabezado con mortero de azufre y las placas elastoméricas de dureza Shore 50 aplicando las normas correspondientes para determinar esta correlación y certificar el uso de las mismas. A su vez, se señalarán los pasos que se ven asociadas con el ensayo ya sea tanto el cálculo de la resistencia empleando las placas elastoméricas como su correcta utilización y rango de uso.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, no se puede dejar de lado la importancia del método de ensayo a compresión, su adecuada realización y su influencia en los resultados obtenidos del mismo.

2. Las placas elastoméricas y el mortero de azufre

2.1 Las placas. Condiciones de utilización

Para efectuar el encabezado con placas de elastómero en la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas es necesario contar con placas fabricadas de material elastomérico, el cual posea la tenacidad suficiente para soportar repetidos usos.

En la actualidad se ha aprendido a sintetizar muchos compuestos de alto peso molecular diferentes, que han hallado utilidad en la preparación de diferentes materiales, entre ellos los elastómeros. Las placas deben estar hechas de policloropreno (neopreno) de acuerdo con las especificaciones que indica la norma. Este material permite una adecuada transmisión de las cargas deformándose de manera tal de tomar contacto con toda la superficie de la base de la probeta. A su vez se detallan en la norma las dimensiones y el material correspondiente. Otros materiales elastoméricos que cumplan los requisitos de desempeño de los ensayos de calificación son permitidos. El usuario debe mantener un registro indicando la fecha en la cual las placas son puestas en servicio, la dureza de la placa, y el número de usos a los cuales han sido sometidas.

Un requisito característico del comportamiento elastomérico es que la estructura molecular sea ligeramente entrecruzada. El

proceso de entrecruzamiento de los elastómeros se denomina vulcanización, que se consigue mediante una reacción química no reversible. El caucho sin vulcanizar es blando y pegajoso y tiene poca resistencia a la abrasión. Mediante la vulcanización aumentan el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y la resistencia a la degradación por oxidación. La magnitud del módulo de elasticidad es directamente proporcional a la densidad de enlaces entrecruzados [3].

Es importante tener en cuenta que las placas cumplen una vida útil determinada, por lo que es necesario examinar las mismas para detectar un uso excesivo o algún deterioro en ellas. Se indica que se deben reemplazar aquellas placas que presenten agrietamientos o hendiduras que excedan los 10 mm de largo, independientemente de su profundidad [4].

En este aspecto, se puede señalar que los límites que se imponen son demasiados acotados ya que las placas sufren rápidamente deformaciones que superan muchas veces estos parámetros (figuras 3 y 4).

Adicionalmente, las caras de las probetas a ensayar utilizando placas elastoméricas no deben presentar depresiones bajo un filo recto medido con un calibre a lo largo de cualquier diámetro que excedan los 5mm. En el caso de que las probetas no cumplan con estas condiciones, no podrán ser ensayadas a menos que se eliminen las irregularidades mediante aserrado o amolado.

Cabe mencionar que muchas no cumplen (figuras 5 y 6) con las indicaciones de la norma: "Previo a su almacenamiento, se coloca sobre la superficie curva de las probetas el número o letra de identificación, se lo anota y también se registra el lugar de la obra de donde se extrae la muestra de hormigón con que se moldeó la probeta" [5].

Aún más, las probetas realizadas para este estudio fueron preparadas en laboratorio y enrasadas cuidadosamente. No obstante, algunas de ellas necesitaron un pulido posterior para el acabado solicitado lográndose de esa manera una superficie que verifique las condiciones mencionadas anteriormente (figuras 7 y 8).

■ **Figura 3.** Borde dañado de una placa.



■ **Figura 4.** Deformaciones de una placa.



■ *Figura 5. Cara superior alterada.*



■ *Figura 7. Caras superiores según norma.*



■ *Figura 6. Identificación incorrecta.*



■ *Figura 8. Caras superiores según norma.*



No hay duda que en este contexto, son pocas las probetas que se encuentran en condiciones de ser ensayadas sin ningún tipo de trabajo suplementario. Generalmente las probetas que se desean ensayar están lejos de estas características.

2.2 El azufre. Factores de seguridad

Como se ha mencionado con anterioridad, el azufre es un componente esencial (75% de la mezcla) para el encabezado de las probetas de hormigón mediante el método tradicional. El pro-

ducto se encuentra en polvo, el cual debe estar almacenado en lugar seco y ventilado.

Como es necesario fundir el azufre, el mismo puede encontrarse en el aire en varias formas diferentes. Es importante tomar todas precauciones de seguridad e higiene, como ser guantes, máscaras y zapatos adecuados debido a que el azufre puede provocar irritaciones en los ojos y garganta, cuando la toma tiene lugar a través de la inhalación del azufre en su fase gaseosa.

■ *Figura 9. Máscara de protección de gases de azufre.*



■ *Figura 10. Hornos para fundir mezcla de encabezado.*



A su vez es indispensable evitar creaciones de concentraciones del vapor en el aire superiores a los límites de exposición durante el trabajo. El preparado sólo debe utilizarse en zonas en las cuales se hayan eliminado toda llama desprotegida y otros puntos de ignición [6]. El operador debe estar informado de estos factores ya que conciernen a su salud y seguridad, no se debe permitir que el azufre entre en contacto con la piel y ojos y evitar la inhalación de vapor y las nieblas que se producen durante el pulverizado (figuras 9 y 10).

En este sentido, también se ve afectado el medio ambiente por la liberación de los vapores propios de la fundición del azufre, por tal motivo es necesario tratar los vapores antes de la liberación del mismo y evitar que el azufre en cualquier estado llegue en grandes cantidades a ríos o napas.

Es importante a su vez, tener en cuenta que el punto de inflamación del azufre es de 277 °C aproximadamente por lo cual se debe evitar toda llama ya que en presencia de una fuente de ignición existe un riesgo potencial de explosión del polvo.

3. Experiencia en laboratorio. Procedimientos y materiales

3.1 Pasos operativos previos

Para consumir el estudio del sistema de encabezado con placas elastoméricas se realizaron una serie de pasos previos al ensayo en sí mismo de las probetas. Principalmente se reunieron ciertos datos que permitieron, entre otras cosas, determinar la dosificación a emplear para la preparación de las probetas.

Con ese fin se determinaron el tamaño máximo y el módulo de finura de los agregados a utilizar en la dosificación a través de un análisis granulométrico, y se realizaron previamente al ensayo

■ **Tabla 1. Características de los materiales.**

Materiales	Características
Cemento	CPN 40
Agua	Inodora, incolora
Agregado grueso	Piedra partida, tamaño máximo 1"
Agregado fino	Módulo de finura 2,56

■ **Tabla 2. Proporciones de los materiales.**

Materiales	Dosificación				
	P [kg]	D	V [m³]	0,07	P [gramos]
Agua	195	1,00	0,195	13,650	13.650
Cemento	450	3,15	0,143	31,500	31.500
Agregado grueso	960	2,67	0,360	67,200	67.200
Agregado fino	749	2,65	0,283	31,458	31.458
Aire			0,020	-	-
a/c	0,43		1,000	-	-

dos pastones de prueba de los cuales se moldearon 8 probetas de 10x20 cm. Las probetas fueron ensayadas a 7 días a compresión para efectuar un control de resistencia. Debido a estos pasos preliminares se recaudaron los datos necesarios para realizar el hormigón que conformaría las probetas a ensayar.

3.2 Materiales empleados

Luego de haber realizado los ensayos para caracterizar los materiales a emplear se moldearon finalmente diez pares de probetas de 15x30 cm, las cuales fueron realizadas con materiales utilizados comúnmente en la región (Tabla 1).

A su vez, estas probetas se realizaron con la dosificación final obtenida luego de varias pruebas en las cuales se fueron modificando distintos parámetros hasta lograr la resistencia deseada para el empleo de la placa de dureza Shore A = 50. Como dato característico se menciona que no fue necesario el empleo de aditivo para la relación 0,43 utilizada en la dosificación (Tabla 2).

En esta etapa de la investigación se realizó el hormigón de acuerdo a la dosificación descrita anteriormente para moldear las probetas teniendo en cuenta que la norma establece para cada nivel de resistencia del hormigón que las probetas deben provenir de un mínimo de dos muestras realizadas en diferentes días.

Debido a eso, se moldearon primeramente 10 probetas de 15x30 cm, las cuales se colocaron en cámara húmeda luego de 24 horas y se ensayaron a los 7 días, cinco de ellas con las placas elastoméricas y las otras cinco con el encabezado tradicional, para poder realizar la prueba de calificación. Esta fue denominada Serie I (Figura 11).

■ **Figura 11. Serie de probetas moldeadas.**



■ **Tabla 3. Resultados Serie I.**

Ensayo a compresión - Serie 1			
Encabezado con placas elastoméricas		Encabezado con azufre	
Nº probeta	Resistencia (MPa)	Nº probeta	Resistencia (MPa)
1-1	37,7	1-4	35,8
1-3	36,9	1-2	31,8
1-7	32,1	1-6	33,7
1-10	35,5	1-5	37,3
1-8	37,2	1-9	30,5
Promedio = 35,9 MPa		Promedio = 33,8 MPa	

■ **Tabla 4. Resultados Serie II.**

Ensayo a compresión - Serie II			
Encabezado con placas elastoméricas		Encabezado con azufre	
Nº probeta	Resistencia (MPa)	Nº probeta	Resistencia (MPa)
2-3	30	2-4	32,2
2-6	30,6	2-1	32,8
2-9	34,4	2-7	35,8
2-8	36,1	2-5	29,5
2-10	33,2	2-2	34,9
Promedio = 32,9 MPa		Promedio = 33,0 MPa	

Dos días luego del primer moldeo se volvió a realizar el hormigón con la misma dosificación moldeando nuevamente 10 probetas de 15x30 cm que siguieron los cuidados de la serie anterior. Esta fue denominada Serie II.

Cada una de las series de probetas mencionadas fue ensayada a la compresión de acuerdo con la normativa por ambos métodos. Se registraron los resultados obtenidos y se realizó el conteo de utilización de las placas (Tablas 3 y 4).

Estos datos revelan en principio, sin la realización de ningún estudio estadístico, que las diferencias en cuanto a la resistencia a compresión de cada tipo de encabezado son prácticamente despreciables. Existiendo solamente variaciones propias dentro de cada método. Aún más, los procedimientos estadísticos realizados a continuación que están indicados en la norma, se utilizan con el fin de asegurar que el sistema de encabezado con

elastómeros no reduzca la resistencia en más del 2%. Como se ve a grandes rasgos en los promedios eso no sucede.

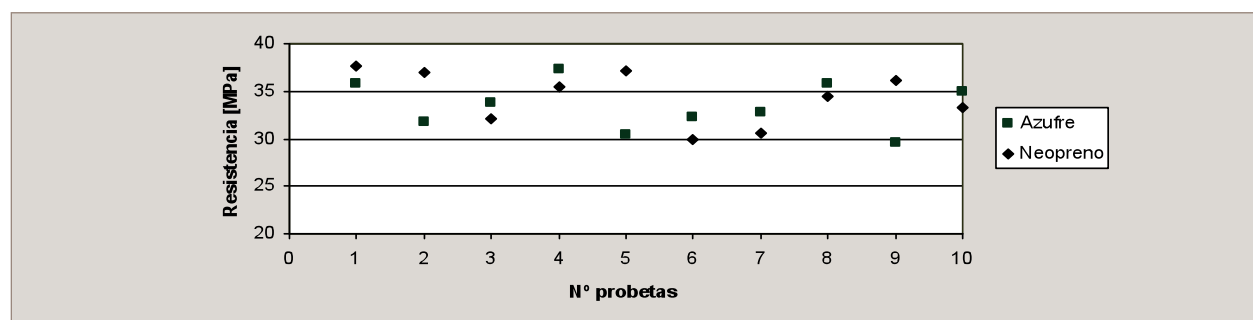
Con el objetivo de poder visualizar en forma gráfica estos resultados, se muestran a continuación (Figura 12) las variaciones que se encontraron en los datos obtenidos para cada método.

3.3 Ecuaciones y resultados

Para cada nivel de resistencia se debe calcular:

- La diferencia de resistencia para cada par de probetas, calculada como la resistencia de la probeta con encabezado de elastómero (X_{pi}) menos la resistencia de la probeta preparada según norma (X_{si}) en megapascales, MPa (Ecuación 1).
- La resistencia promedio de las probetas encabezadas según la norma para un dado nivel de resistencia, en MPa (Ecuación 2).

■ **Figura 11. Relación entre tipos de encabezado.**



- La resistencia promedio de las probetas encabezadas con placas de elastómero, para un dado nivel de resistencia, en Mpa (Ecuación 3).
- Por anteúltimo se calcula la diferencia promedio (Ecuación 4).
- Finalmente se realiza el cálculo del desvío estándar de la diferencia, Sd, para cada nivel de resistencia (Ecuación 5).

$$d_i = x_{pi} - x_{si} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\bar{x}_s = (\sum x_{si}) / n \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\bar{x}_p = (\sum x_{pi}) / n \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$\bar{d} = (\sum d_i) / n \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Siendo n en ambos casos el número de pares de probetas ensayadas por niveles de resistencia. Para cumplir con lo que indica la norma es necesario satisfacer con los datos conseguidos aplicando las fórmulas mencionadas una relación estadística que implica

$$X_p \geq 0,98\bar{x}_s + (t \cdot S_d) \sqrt{n}$$

■ **Tabla 5. Valores de T de Student.**

(n-1)	T (α = 0,50)
9	1,833
14	1,761
19	1,792
100	1,662

El valor de la T de Student para (n-1) pares y para α = 0,05, esto es un nivel de confianza del 95%, se obtiene de la Tabla 5. Esta tabla se encuentra estipulada en la norma, sin embargo se aclara que se debe utilizar interpolación lineal para otros valores de (n-1) o referir a una tabla estadística apropiada (Tabla 5).

■ **Tabla 6. Resultados comparativos de las dos Series.**

Par de probetas nº	Encabezado de neopreno MPa	Encabezado de azufre MPa	Diferencia Δ MPa
1	37,7	37,3	0,4
2	36,9	30,5	6,4
3	32,1	33,7	-1,6
4	35,5	31,8	3,7
5	37,2	35,8	1,4
6	30	34,9	-4,9
7	30,6	30	0,6
8	34,4	35,8	-1,4
9	36,1	32,8	3,3
10	33,2	32,2	1
Promedio	34,37 MPa	33,48 MPa	0,89
	Desviación estándar		3,15

Con los datos obtenidos se realizaron los cálculos mencionados anteriormente, los valores de los resultados obtenidos se expresan a continuación (Tabla 6). Se incluyó así mismo la diferencia Δ, donde especialmente se destaca que las diferencias no son sustanciales.

Reemplazando obtenemos:

$$34,37 \geq 0,98 \times 33,48 + (1,833 \times 3,15) / \sqrt{10}$$

$$34,37 \geq 32,81 + 1,82$$

$$34,37 \geq 34,63$$

Si bien estos datos no satisfacen la inecuación, su diferencia es tan pequeña que nos alienta a seguir investigando. Estamos en presencia de un desfase de 0,26 en cuanto a los requisitos de la norma aplicando los métodos estadísticos y de una discrepancia en los promedios de ambos métodos de tan sólo de 0,89 Mpa. El sistema de encabezado no habría calificado de acuerdo a la normativa vigente, sin embargo los resultados son alentadores.

4. Conclusiones

Se han presentado una serie de análisis en cuanto a ambos sistemas de encabezado, describiendo características favorables y desfavorables de cada uno de ellos con el objetivo primordial de introducir en el plano del ensayo a compresión una opción diferente. La aplicación de las placas elastoméricas aporta características de agilidad y rapidez (figuras 12 y 13).

Es necesario subrayar algunos aspectos demasiados acotados en lo que se refiere a los parámetros establecidos por la norma reguladora del empleo de placas elastoméricas. En este sentido, uno de los requisitos en cuanto a las probetas a ensayar establece que las caras de las mismas no deben poseer marcas que excedan los 3 mm, lo que determina un intervalo demasiado angosto especialmente para probetas realizadas en obra que rara vez cumplen estas condiciones.

■ **Figura 12. Máquina de ensayo.**



Se considera que la investigación, que abre una esperanza en cuanto a la utilización eficiente de este sistema, estimula la continuidad de este estudio.

Si bien este `nuevo´ sistema de encabezado aún genera un escepticismo general, que viene a su vez respaldado de alguna manera por las estrictas particularidades de la norma, es necesario continuar con la investigación de manera de poder hacer un juicio más objetivo. Se considera, en principio, que el empleo de las placas elastoméricas es un método eficaz y con gran potencial de utilización en el ensayo de compresión de probetas de hormigón.

Bibliografía

Mencionada en el texto

- [1] ASTM C 617, "Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens". 1998 (Reapproved 2003).
- [2] ASTM 1231/C 1231M, "Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders", 2000.
- [3] V.M. Potapov; S. N. Tatarinik. Química Orgánica. Editorial Mir Moscú; 2da edición, 1983.
- [4] IRAM 1709, Método para el uso de Encabezado con Placas de Elastómero en la Determinación de la resistencia a Compresión de Probetas Cilíndricas, 2009.
- [5] IRAM 1524*, Preparación y Curado en obra de Probetas para ensayos de Compresión y Tracción diametral, 2004.
- [6] Ficha de datos de Seguridad (FDS), Azufre Flor Polvo PRS, 2008.

■ **Figura 13. Probeta para ensayo.**



Consultada

- Segerer Maximiliano, La batalla por el encabezado, Revista Hormigonar, Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, Año 4, Edición 12, Agosto 2007, Páginas 32-36.
- AATH, Memorias, 16ª Reunión Técnica, Mendoza. Anthony I., Defagot C., Domínguez L., Magnano E., Piga R.; Control de Calidad del Materiales de Encabezado para Ensayo a Compresión de Probetas de Hormigón, CECOVI. Noviembre, 2006.
- Publicación del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto; Cabeceo de especímenes de concreto cilíndricos, Agosto 2008.
- Publicación de "Portland Cement Association". "Concrete Technology Today; Strong results for Pad Caps", marzo 2003.
- Fernandez-Luco L., D'Andrea R., Benítez A. Acondicionamiento de Probetas y Testigos Cilíndricos de Hormigón para Ensayo a la Compresión- Especificaciones para el Compuesto de Refrentado (Capping). CONPAT, 2005.
- ACI 211.1-91 (reapproved 2002) "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete".
- Callister, W. D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Editorial Reverté, Volumen II, 1996.
- Aitcin P. C. High Performance Concrete; Editorial E and FN Spon, 1998.
- Ken W. Day. "Concrete mix design, Quality, Control and specifications." Editorial E and FN Spon, 1999.