

COMPARACIÓN EN EL DESEMPEÑO DE ENCABEZADOS DE PROBETAS DE HORMIGÓN CON AZUFRE Y NEOPRENO, ADICIONANDO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

Caffaro, Gerónimo¹; Crespi, Lucas²

Ingeniero civil, Ingeniero civil

Laboratorio del Departamento de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina

¹gcaffaro@unc.edu.ar; ²lcrespi@unc.edu.ar

RESUMEN

Tradicionalmente, la evaluación de la resistencia a compresión del hormigón se realiza mediante la compresión axial de probetas hasta su fractura. Sin embargo, dadas las controversias y escepticismo en torno a los resultados obtenidos con diferentes métodos de encabezado, se han implementado ensayos no destructivos, como el ultrasonido y el esclerómetro, por su simplicidad, rapidez y bajo costo. Estos ensayos se llevaron a cabo previo a las pruebas de compresión, permitiendo un análisis integral de los resultados. Este estudio se basa en la experiencia adquirida en la fabricación de 120 probetas de hormigón H25, distribuidas en 6 series. El objetivo es proporcionar una comparación entre los métodos de esclerometría, ultrasonido y ensayos de compresión utilizando encabezados de neopreno, como alternativa emergente, y el encabezado tradicional de azufre.

ABSTRACT

Traditionally, the evaluation of the compressive strength of concrete is carried out by axial compression of specimens until they fracture. However, given the controversies and skepticism surrounding the results obtained with different heading methods, non-destructive tests, such as ultrasound and sclerometric testing, have been implemented due to their simplicity, speed, and low cost. These tests were carried out prior to the compression tests, allowing a comprehensive analysis of the results. This study is based on the experience acquired in the manufacture of 120 H25 concrete specimens, distributed in 6 series. The objective is to provide a comparison between sclerometry, ultrasound and compression testing methods using neoprene headers, as an emerging alternative, and the traditional sulfur header.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

Es común encontrarse en la situación de evaluar estructuras existentes, ya sea para su refuerzo, reparación o incluso para prolongar su vida útil mediante técnicas de reciclaje. En este contexto, es fundamental caracterizar y comprender los parámetros de resistencia del hormigón que las componen. Para lograrlo de manera rápida y económica, se recurre alternativamente a métodos de Ensayos No Destructivos (END). Entre estos, destacan el ultrasonido y el esclerómetro, los cuales, acompañados de la extracción y rotura a compresión de testigos de hormigón, permiten obtener correlaciones entre la resistencia del hormigón y los valores hallados en los END que, repetidos en una buena cantidad de puntos de una estructura, permitan juzgar la calidad, homogeneidad y uniformidad del hormigón.

En esta instancia, antes de proceder con los ensayos destructivos de compresión de probetas, se llevó a cabo la caracterización mediante los dos END antes mencionados. Posteriormente, estos resultados se correlacionaron y contrastaron con los resultados encontrados por Amin (2001), cuyo estudio fue el impulsor de este trabajo.

DESARROLLO

El trabajo consistió en moldear 120 probetas (ver Figura 1) de un pastón de hormigón elaborado de calidad H-25 de acuerdo a la dosificación que se presenta en la Tabla 1. Las mismas se dividieron en 6 grupos (serie A a F) de 20 probetas cada una, de los cuales 3 grupos se confeccionaron con moldes plásticos y 2 grupos con moldes metálicos, ambos con una dimensión 15 x 30 cm. El último grupo se realizó con moldes metálicos de dimensiones 10 x 20 cm.

El proceso de moldeo se desarrolló en un plazo de 40 minutos, donde participaron 14 personas desempeñando diferentes roles, conforme a lo establecido por la norma IRAM 1534:2004. La temperatura del pastón de hormigón se midió al inicio y al final del proceso (22.7°C / 20.3°C), al igual que el asentamiento (13.5 cm / 19.5 cm). Posteriormente se dejaron las probetas en reposo durante 24 hs en el lugar de la preparación, para luego desmoldarlas y llevarlas a la cámara de curado por inmersión que se encuentra en el Laboratorio de Estructuras de la FCEFyN de la UNC.

Luego del tiempo de curado en cámara, se prosiguió con la confección de los ensayos en diferentes edades (la primera serie se ensayó a los 27 días y la última a los 147 días). En primer término, sobre los 10 pares de probetas gemelas que conforman la serie, se realizó la medición del peso y de las medidas de cada una, para determinar la densidad. Luego se tomaron lecturas de las velocidades de propagación de onda ultrasónica, una lectura por probeta, entre caras sin encabezar y a continuación entre caras encabezadas con azufre. Posteriormente, se realizaban las lecturas del número de rebote con el método esclerométrico (en probetas 15 x 30 cm se realizaban 9 lecturas y en probetas 10 x 20 cm 6 lecturas, siempre de manera vertical, en la cara superior, sin encabezar, sin carga y apoyadas en el piso, finalmente se descartaban

Organiza:

las lecturas que diferían en ± 5 unidades del promedio, para realizar el promedio final de lectura), la Figura 2, ejemplifica lo descrito.



Figura 1. Elaboración de probetas en el Laboratorio de Estructuras.

Material	Masa [kg]	Vol. [%]	masa [%]
agregado grueso '6/19	928	3,13	2,73
arena gruesa	696	2,44	2,05
arena fina	234	0,81	0,69
cemento CPC 40 Loma Negra	340	1,00	1,00
agua	170	1,57	0,50
aditivo Mira 331	2,72	0,02	0,01
aire	0	0,23	0,00
Total	2370,72		

Tabla 1. Dosificación utilizada para 1 m³ de hormigón H-25.



Figura 2. Ensayos de densidad, ultrasonido y esclerómetro.

A continuación, se confeccionaron los encabezados con mortero de azufre sobre las 10 probetas del grupo correspondiente y finalmente se ensayaron las 20 probetas

Organiza:

gemelas a compresión (10 encabezadas con azufre y 10 con neopreno), tal y como se muestra en las Figuras 3 y 4. Con todas las mediciones y lecturas realizadas se prosiguió a realizar tablas, cuadros, correlaciones y análisis de los de los diferentes resultados obtenidos, los cuales se presentan en el apartado a continuación.



Figura 3. Vista de roturas de probetas típicas.



Figura 4. Equipo de compresión utilizado para realizar los ensayos.

RESULTADOS

En la Figura 5 se puede observar la variación de la densidad promedio del grupo de 10 probetas ensayadas frente al avance del tiempo. El valor promedio es de $2.365 \pm 0.035 \text{ gr/cm}^3$ ($\pm 1.46\%$).

La Figura 6, muestra las lecturas de las velocidades de ondas promedios de cada grupo de 10 probetas ensayadas versus el tiempo de ensayo, el valor promedio es igual a $4058.29 \pm 76.90 \text{ m/s}$ ($\pm 1.89\%$).

En el caso de la Figura 7, donde se muestra el resultado promedio de las 10 probetas Organiza:

ensayadas, el procedimiento de toma de lectura no fue realizado como indica la Norma 1694:1989, sino que se procedió tomando lecturas del número de rebote con el esclerómetro (9 impactos en probetas 15 x 30 cm y de 6 impactos en probetas 10 x 20 cm), siempre de manera vertical, en la cara superior, sin encabezado, sin carga y apoyadas en el piso, finalmente se descartaron las lecturas que difieren en ± 5 unidades del promedio, para realizar el promedio final de lectura. El valor promedio fue igual a $19.01 \pm 4.23 R (\pm 11.39\%)$.

La Figura 8, refleja el valor obtenido en el ensayo a compresión simple en probetas de hormigón, frente al tiempo transcurrido de ensayo.

Cabe remarcar que las fechas de ensayos fueron a los 27, 30, 44, 48, 64 y 149 días, todas las probetas tenían dimensiones 15 x 30 cm a excepción de las ensayadas a los 149 días que eran de 10 x 20 cm. Los resultados reflejados en las figuras no contienen coeficientes de corrección de forma o tamaño de la probeta.

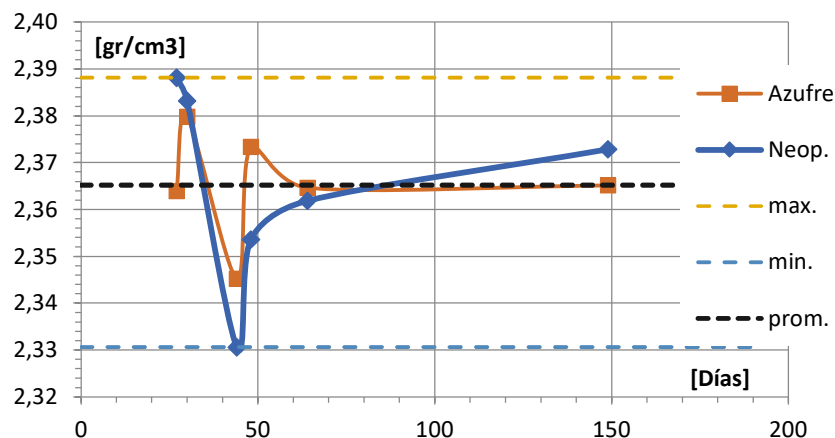


Figura 5: Variación de la densidad promedio del hormigón.

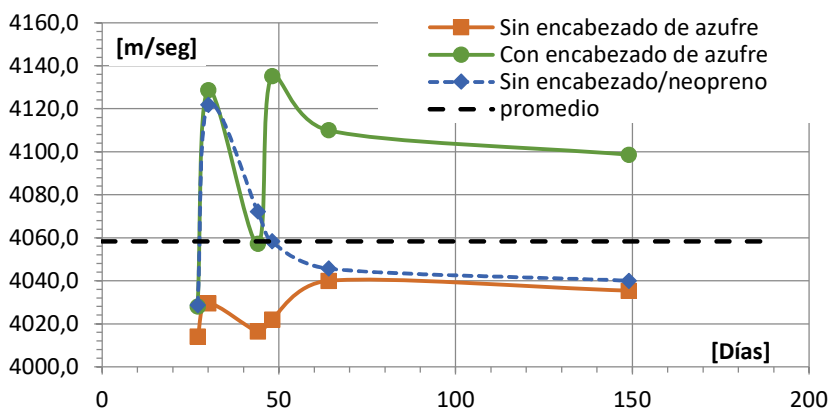


Figura 6: Variación de la velocidad de onda promedio de la probeta.

Organiza:

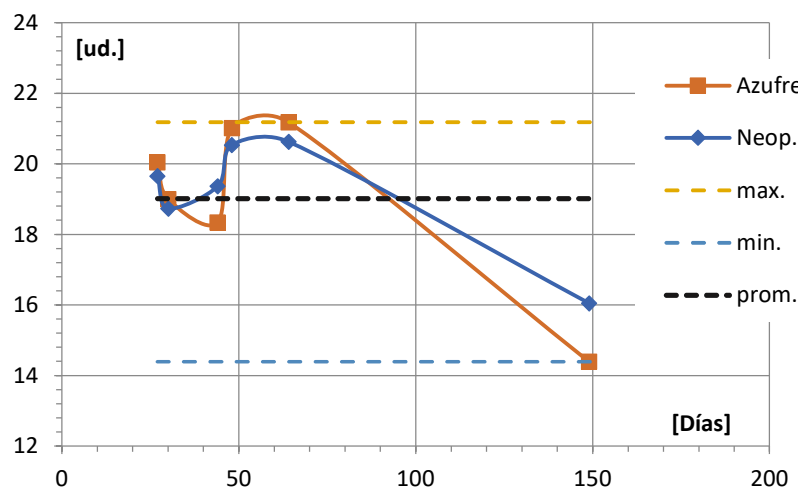


Figura 7: Variación del número de rebote [-90°] promedio en probetas

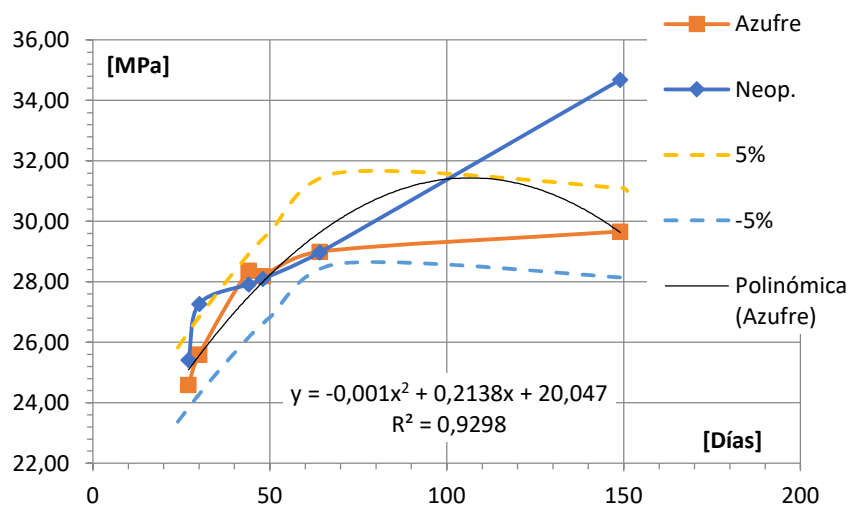


Figura 7: Resistencia a compresión promedio

CORRELACIONES

De los ensayos realizados (la obtención de velocidad de propagación de ondas mediante el equipo de ultrasonido, la determinación del número de rebote mediante el esclerómetro y la resistencia a compresión de probetas de hormigón) cabe remarcar que se realizaron probetas gemelas para estudiar si existían variaciones en función del tipo de encabezado utilizado en el ensayo de compresión. Por otro lado, dada la dispersión que otorgan a los resultados, se decidió descartar los resultados obtenidos

Organiza:

en las probetas ensayadas a 149 días, ya que las mismas eran probetas de 10 x 20 cm a diferencia del resto, que eran de 15 x 30 cm.

El trabajo realizado por el Ing. Amin (2001), presenta diferentes formulaciones para la estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el uso de ensayos no destructivos que se emplean a continuación a partir de las mediciones realizadas. Estas correlaciones están desarrolladas para hormigones de diferentes edades basadas en los valores del número de rebote y la velocidad de ultrasonido.

$$R1 = 35,84 \cdot v - 136,16 \quad (1)$$

$$R2 = 0,483 \cdot N^{1,218} \quad (2)$$

$$R3 = 0,086 \cdot 3,013^v \cdot 1,028^N \quad (3)$$

Donde: R1, R2, R3, es la resistencia a compresión [MPa]; v, es la velocidad de ultrasonido [Km/seg]; N, es el valor del número de rebote [ud].

Amin remarca que para las diferentes correlaciones indicadas en las ecuaciones (1) a (3), entre el 86% y el 73% de sus determinaciones realizadas caen dentro de un límite de confianza de $\pm 20\%$, y al cotejar sus correlaciones con las de otros autores, éstas arrojan valores algo menores, posiblemente por la diferencia de materiales y según la tecnología usada en la región.

Considerando la corrección de lectura (+3 para -90°) en el número de rebote y utilizando la ecuación (2), en la Figura 8, se puede observar la comparación entre los valores de resistencia a compresión obtenidos y los determinados por la correlación de Amin (2001), frente a la variación del número de rebote.

De igual modo, en la Figura 9, se puede observar la comparación de los resultados obtenidos en ensayos de compresión frente a la correlación de Amin (2001), utilizando la ecuación (1) en función de la velocidad de ultrasonido.

Finalmente, utilizando la ecuación (3) podemos apreciar en la Figura 10, el grado de correlación entre el valor de resistencia obtenido mediante la lectura directa de un ensayo a compresión frente a la determinación indirecta por correlación con los valores del número de rebote y la velocidad de ultrasonido.

Organiza:

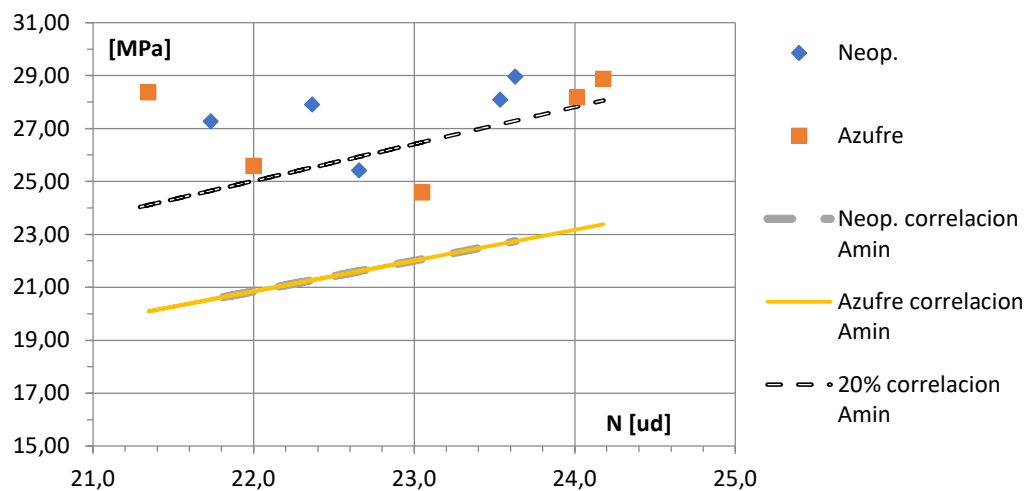


Figura 8: Resistencia a compresión vs. Número de rebote corregido

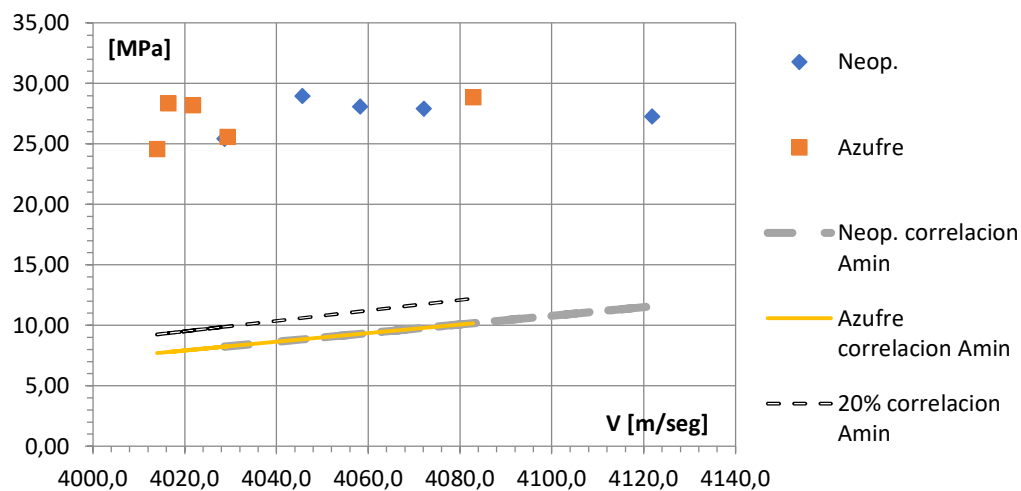


Figura 9: Resistencia a compresión vs. Velocidad de ultrasonido.

Organiza:

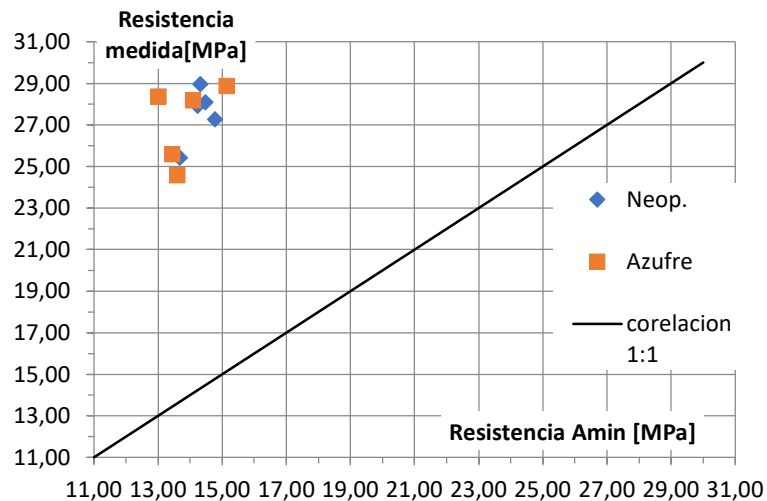


Figura 10: Resistencia a compresión medida vs. Resistencia a compresión según correlación Amin (2001).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Podemos observar que los parámetros medidos del hormigón se estabilizan a partir de los 60 días, y que, para comparar resultados entre diferentes probetas, el tamaño de estas influye, por lo que es necesario introducir parámetros de ajuste o correlación (que no se han usado en este trabajo y por ello estos resultados se han descartado para su análisis).

Los resultados obtenidos en la comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón realizados con encabezados de azufre y con encabezado de neopreno, son satisfactorios.

Las comparaciones de los valores de resistencia a compresión obtenidos con los ensayos tradicionales y los obtenidos de manera indirecta mediante valores de END y utilizando las correlaciones de Amin (2001) no fueron del todo satisfactorias.

Aunque se modificó la manera de determinar el número de rebote en una probeta, esta correlación tuvo buenos resultados para determinar la resistencia a compresión del hormigón, no así la correlación que utiliza la velocidad de ultrasonido. Cabe remarcar que en esta oportunidad se obtuvo una velocidad promedio de 4060 m/seg, lo que es un valor característico para un hormigón de calidad entre bueno y muy bueno. Si esta velocidad hubiera sido aproximadamente un 10% mayor, las correlaciones hubieran sido muy buenas. Esto nos deja ver que el nivel de sensibilidad de las variables es alto y habría que tener mucho cuidado para reducir los errores de toma de lectura.

Para futuras líneas de estudio, se debería cuantificar el envejecimiento y degradación de las placas de neopreno, como así también considerar las diferentes calidades, Organiza:

marcas y durezas disponibles en mercado, tal y como se expresa en el trabajo N°116 de las presentes jornadas, donde se comprueba que la rotación de las placas mejora el desempeño o alarga la cantidad de usos antes de su deterioro y descarte.

En relación a las ecuaciones de correlación de Amin (2001), se deberían realizar más ensayos y cuantificar la variabilidad en los materiales y la tecnología local, frente a las variaciones que pudieran sufrir la toma de valores en el número de rebote como así también en la determinación de la velocidad de propagación de ondas de ultrasonido sobre probetas o elementos estructurales en obra.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Hormi-Block S.A. por el aporte del pastón de hormigón, al Ing. Pablo Stumpf, al personal del Laboratorio de Estructuras de la FCEFyN de la UNC por la colaboración en el desarrollo del trabajo

BIBLIOGRAFÍA

Amin, D. L., “Estimación de la resistencia del hormigón mediante ensayos no destructivos”, Laboratorio de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional De Tucumán, Argentina, (2001).

Norma IRAM 1546:2013. “Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de compresión”

Norma IRAM 1683:1990. “Hormigón de Cemento Portland. Métodos de laboratorio de determinación de las resistencias a la compresión y a la flexión”

Norma IRAM 1694:1989. “Esclerometría”

Norma IRAM 1709:2002/2016. “Hormigón de cemento. Método y requisitos para el uso de placas de elastómero no adheridas, empleadas para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas y testigos cilíndricos de hormigón endurecido”

Organiza: