

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE ENCABEZADOS DE NEOPRENO EN ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN LUEGO DE 150 USOS

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

En la actualidad se ha observado un creciente uso de encabezados de neopreno en lugar de los de azufre. El motivo probablemente sea que esta tecnología introduce un material con mejores ventajas medioambientales y sanitarias, donde además su empleo no requiere de grandes instalaciones ni demanda de tiempo para los operarios. Sin embargo, en contrapartida, los materiales elastoméricos tienen una vida útil limitada que surge del deterioro por su propio uso. Si bien esta problemática está regulada por normativas, después de varios ensayos y ajustes metodológicos, se ha demostrado la posibilidad de prolongar la vida útil de los discos de neopreno. Esto fortalece aún más el caso del uso de encabezados de neopreno en ensayos de rotura a compresión de probetas cilíndricas de hormigón, reemplazando al encabezado tradicional de azufre. Este estudio comparó diferentes técnicas de uso de discos de neopreno y las contrastó con ensayos tradicionales de azufre, evidenciando mejoras y una prolongación en la vida útil de los discos de neopreno sin comprometer la calidad y precisión de los resultados.

ABSTRACT

Nowadays there has been an increasing use of neoprene headers instead of sulfur ones. The reason is probably that this technology introduces a material with better environmental and health advantages, where its use does not require large facilities or time demands for operators. However, on the other hand, elastomeric materials have a limited useful life that arises from deterioration due to their own use. Although this problem is regulated by regulations, after several tests and methodological adjustments, the possibility of prolonging the useful life of neoprene discs has been demonstrated. This further strengthens the case for the use of neoprene headers in compression failure tests of cylindrical concrete specimens, replacing the traditional sulfur header. This study compared different techniques for using neoprene discs and contrasted them with traditional sulfur tests, showing improvements and an extension in the useful life of neoprene discs without compromising the quality and precision of the results.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se ha popularizado el empleo de placas de neopreno como método de encabezado en los ensayos de resistencia a compresión del hormigón. Este sistema ofrece ventajas significativas, como su rapidez y facilidad operativa. Además, representa una alternativa más ecológica y sostenible en términos del cuidado de la salud del personal y del medio ambiente en comparación con el tradicional encabezado de azufre.

Según Milanesi et al [1], persisten discrepancias en cuanto al impacto del uso de placas de neopreno en comparación con métodos tradicionales como el mortero de azufre en los ensayos de resistencia a compresión del hormigón. Mientras algunos estudios reportan resultados superiores al emplear placas de elastómero, otros mencionan desempeños menos favorables en comparación. Por ejemplo, Barreda et al (2011) encontraron incrementos de resistencia entre 3,5 y 12 % con placas de neopreno respecto al encabezado de azufre en ciertos rangos de resistencia.

Lezcano et al (2019) demostraron un aumento de resistencia de entre 4,5 y 10 % con placas de neopreno, incluso algunas que no cumplían con estándares de caracterización, frente al método de azufre. Sin embargo, De Marco et al (2003) observaron que el encabezado con neopreno sin retención mostró menor resistencia y mayor variabilidad entre lotes, mientras que encabezados de azufre y neopreno con retención lograron las mayores resistencias sin diferencias significativas entre ellos.

Por otro lado, López et al (2011) señalaron que la flexibilidad de las placas de neopreno proporciona una mejor superficie de contacto, conduciendo a mayores resistencias en comparación con el pulido de caras o el mortero de azufre, con incrementos del 6,5 % y 8,6 % respectivamente.

Torres y Eggers (2011), al analizar hormigones de alta resistencia, encontraron una mayor variabilidad entre sistemas de encabezado, indicando que los elastómeros podrían ser menos sensibles a defectos. Sin embargo, Medeiros et al. (2017) al comparar distintos sistemas en hormigones de resistencias entre 20 y 80 MPa, concluyeron que el encabezado con mortero de azufre resultó más efectivo en términos de menor dispersión y, en la mayoría de los casos, mayor resistencia.

Según Milanesi et al. (2020), su estudio indica que el pulido de las caras de las probetas como método de encabezado resulta en resistencias promedio considerablemente más bajas (aproximadamente el 94 % en comparación con el encabezado utilizando mortero de azufre) y mayor dispersión en los resultados.

Los párrafos anteriores subrayan la importancia de contar con procedimientos normativos estrictos para garantizar la representatividad de los resultados al emplear distintos métodos de encabezado, ya que, idealmente, el método de encabezado no debería influir en la carga resultante; cualquier variación en los resultados podría derivar en errores en la preparación o ejecución del ensayo. Sin embargo, cuestiones como la influencia de la esbeltez de la probeta al usar encabezados con placas elastoméricas han recibido poca discusión. Asimismo, la rigidez de la prensa y la

Organiza:

velocidad del ensayo podrían tener un ligero efecto en los resultados.

Al igual que en otros estudios similares, en esta ocasión no se busca debatir si un sistema de encabezado proporciona valores de carga superiores o inferiores, sino que el objetivo que se persigue es el de establecer la cantidad óptima de usos de los discos de neopreno.

El método que emplea placas elastoméricas está debidamente validado en Argentina a través de la norma IRAM 1709:2016, la cual especifica el uso de encabezado con placas de neopreno para probetas y testigos de hormigón. Esta normativa ha servido como fuente y referencia en la elaboración del presente estudio.

De acuerdo a lo expresado anteriormente y según las regulaciones impuestas por la norma referida, siempre que se desee continuar utilizando el conjunto de placas elastoméricas más allá de los 100 usos, su aptitud debe ser cualificada mediante ensayos de probetas gemelas realizados con un encabezado alternativo (tal como el mortero de azufre) que permita realizar un análisis comparativo de los resultados hallados (en torno a la media y la dispersión que se obtengan con cada técnica de encabezado). Lo mismo ocurre ante cambios en la dureza Shore A del conjunto de placas elastoméricas. Cuando se produce un cambio de más de 5 unidades entre dos mediciones consecutivas, se debe realizar un estudio comparativo de los resultados que se obtengan con el encabezado de neopreno y un encabezado alternativo, como el de mortero de azufre.

En relación al uso de las placas elastoméricas, generalmente el número máximo de usos varía entre 100 y 300 dependiendo de la calidad del neopreno y del deterioro que sufran debido a su uso. En este sentido, como la norma no especifica la forma de uso de las placas, en este trabajo se ofrecen tres alternativas que persiguen como objetivo observar la evolución del desgaste de los elastómeros y su desempeño para diferentes formas de empleo, que posibiliten extender la cantidad de usos de los mismos. Las alternativas propuestas en este trabajo son las siguientes:

- colocar cada elastómero en los cabezales superior e inferior sin rotarlos ni intercambiar los cabezales durante toda la serie de ensayos;
- rotar las caras de las placas que están en contacto con la superficie de la probeta de hormigón, pero sin intercambiarlas entre el encabezado superior e inferior,
- rotar las caras de las placas e intercambiar la posición entre el cabezal inferior y el superior.

DESARROLLO

Tal y como se muestra en la Figura 1, para dar inicio al trabajo objeto de este estudio, en primer lugar, se moldearon 120 probetas de un pastón de hormigón de calidad H-25. Las mismas se dividieron en 6 grupos (serie A a F) de 20 probetas cada una, de las cuales 3 grupos se confeccionaron con moldes plásticos y 2 grupos con moldes metálicos, con una dimensión 15 x 30 cm, y un último grupo con moldes metálicos en dimensiones de 10 x 20 cm.

Organiza:

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. Posteriormente se dejaron las probetas en reposo durante 24 hs en el lugar de moldeo y, finalmente, se desmoldaron para ser llevadas a la cámara de curado por inmersión con la que cuenta en Laboratorio de Estructuras de la FCEFyN de la UNC.



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

Luego del tiempo de curado en cámara hasta las diferentes edades de ensayo (la primera serie se ensayó a los 27 días y la última a los 147 días) se prosiguió con la ejecución de los encabezados. En primer término, sobre el primer juego de 20 probetas gemelas que conformaron la serie, sobre 10 de ellas se confeccionó el encabezado tradicional con mortero de azufre mientras que sobre las restantes 10 probetas se empleó el encabezado de neopreno. A continuación, se ensayaron a compresión las 20 probetas. En las Figuras 2 a 4 se muestran las roturas típicas, la prensa utilizada para realizar los ensayos y una placa de neopreno nueva, sin usos, con la lectura de su dureza Shore A.



Figura 2. Vista de roturas de probetas típicas.

Organiza:



Figura 3. Equipo de compresión utilizado para realizar los ensayos.



Figura 4. Disco de neopreno nuevo y su lectura de dureza Shore A.

Del moldeado inicial de 120 probetas, en este trabajo se utilizaron un total de 60 probetas divididas en 3 series que permitieron caracterizar 3 pares o juegos de neoprenos empleando diferentes usos.

Un par de disco se utilizaron sin cambios entre ensayo y ensayo, donde cada uno de ellos ocupaba la misma posición y de la misma manera; sobre otro par de discos se fueron rotando sus caras, pero sin intercambiar entre el cabezal superior e inferior luego de cada uso; en un tercer juego de discos se fueron rotando sus caras e intercambiando entre el cabezal superior e inferior.

Este trabajo se realizó en dos instancias bien determinadas: la primera de ellas partiendo de discos de neopreno sin usos y la segunda empleando discos de neopreno con 150 usos empleando las tres técnicas de rotación e intercambio comentadas,

Organiza:

permitiendo observar tanto el aspecto visual de los elastómeros producto de su uso como la evolución de la dureza Shore A de las placas. Al inicio de cada jornada, se realizaba observando visualmente cada placa y se registraban comentarios de su aspecto. En paralelo, se determinaba la dureza mediante el promedio de 5 lecturas. El resultado de este análisis permitió observar las influencias del modo de uso de los elastómeros luego de los 150 ensayos, asociando su deterioro y aspecto visual a la evolución de su dureza. Este análisis permitió determinar que la mejor forma de empleo y conservación de los elastómeros era la que incurrió en un menor daño local y menor disminución de la dureza en relación al número de uso. Esta forma de empleo, que fue escogida para la continuidad del estudio, fue la realizada a partir de la rotación de las caras de cada disco y del intercambio entre su posición inferior/superior de cabezal.

Una vez alcanzados los 150 usos, y para determinar la variabilidad de la respuesta de los elastómeros con el deterioro en relación a los resultados obtenidos con elastómeros nuevos, se realizó una nueva caracterización mediante un pastón de probetas gemelas ensayadas con encabezado de azufre.

El nuevo pastón de hormigón fue elaborado de calidad H-30, moldeando 30 probetas gemelas de una dimensión de 15 x 30 cm. Las mismas se dividieron en 3 grupos de 10 probetas, donde cada grupo se ensayó a los 28 días con un encabezado diferente: uno de azufre, otro con un juego de neoprenos nuevos y el tercero con los discos en mejor estado o mejor comportamiento escogidos de las alternativas de empleo realizada en la serie anterior.

Con todas las mediciones y lecturas realizadas de los diferentes resultados se prosiguió a realizar tablas, cuadros, correlaciones y análisis que se desarrollan en el apartado siguiente.

RESULTADOS

Como indica la norma IRAM 1709:2016, se realizó el ensayo de calificación al comienzo del uso de una nueva placa elastomérica. La Tabla 1, muestra el procedimiento y resultado de uno de los juegos, de los 3 que fueron utilizados de manera diferente en la primera serie de ensayos.

La norma indica que para cumplir la calificación los resultados deben satisfacer la siguiente expresión:

$$X_p \geq 0,98 \cdot X_s + t \cdot S_d / \sqrt{n} \quad (1)$$

Donde: X_p , es la resistencia promedio de las probetas ensayadas con cabezal de neopreno [MPa]; X_s , es la resistencia promedio de las probetas ensayadas con cabezal de azufre [MPa]; t , es el valor "t de student" para (n-1) pares de probetas; S_d , es la desviación estándar de las diferencias de resistencia de los pares de probetas

Organiza:

[MPa] y n, es el número de pares de probetas ensayadas.

En este caso particular $t = 1,833$, lo que nos resulta que la expresión (1) es $25,42 \geq 25,09$, y esto nos indica que el sistema califica, donde los resultados obtenidos demuestran un nivel de confianza del 95%.

Luego de caracterizados los discos nuevos, a cada juego se los usó hasta llegar a los 150 ensayos, registrando la variación de las durezas Shore A, previo al inicio de cada jornada de uso. Las Figuras 5 a 7, muestran la variación de la dureza frente al avance del número de usos del disco que se utiliza de manera fija (sin cambios de cabezal ni rotaciones de caras), luego de cada uso.

Par de probetas N°	Neopreno s/uso [MPa]	Azufre [MPa]	Diferencia [MPa]
1	24,07	24,01	0,06
2	26,60	23,23	3,37
3	24,44	25,75	-1,30
4	26,00	26,68	-0,68
5	23,70	20,82	2,88
6	25,97	26,26	-0,29
7	25,01	22,54	2,48
8	25,32	26,05	-0,73
9	26,79	26,37	0,42
10	26,32	24,18	2,14
PROMEDIO	25,42	24,59	0,83
Desviación standard			1,71
Valor de comparación			25,09

Tabla 1. Valores de compresión medidos y cálculos, con diferentes encabezados en grupo de probetas gemelas.

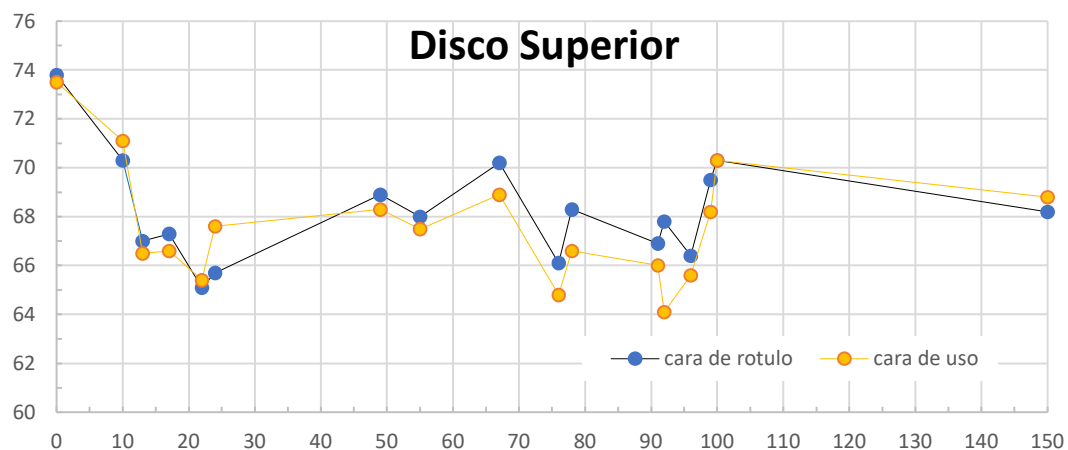


Figura 5: Discos fijos, variación de dureza Shore A vs número de usos

Organiza:

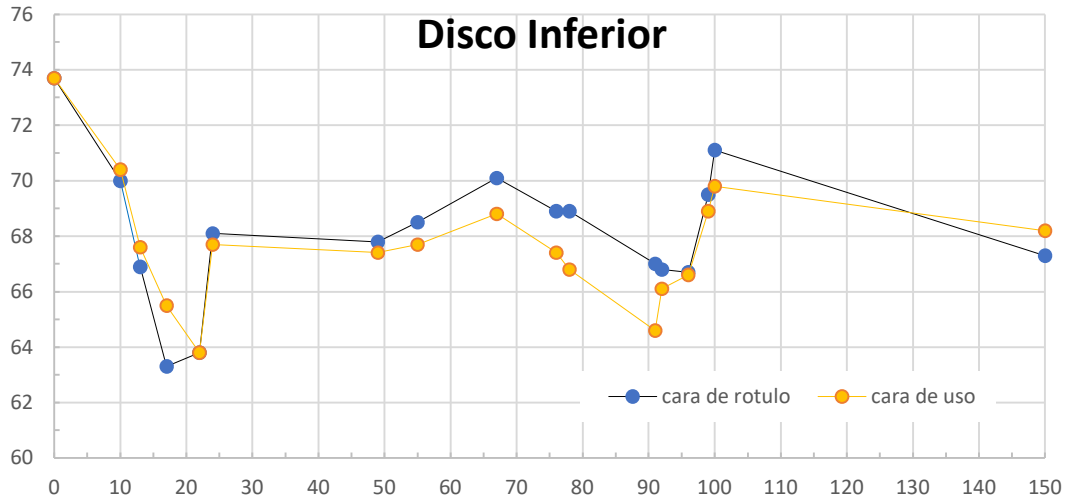


Figura 6: Discos fijos, variación de dureza Shore A vs número de usos

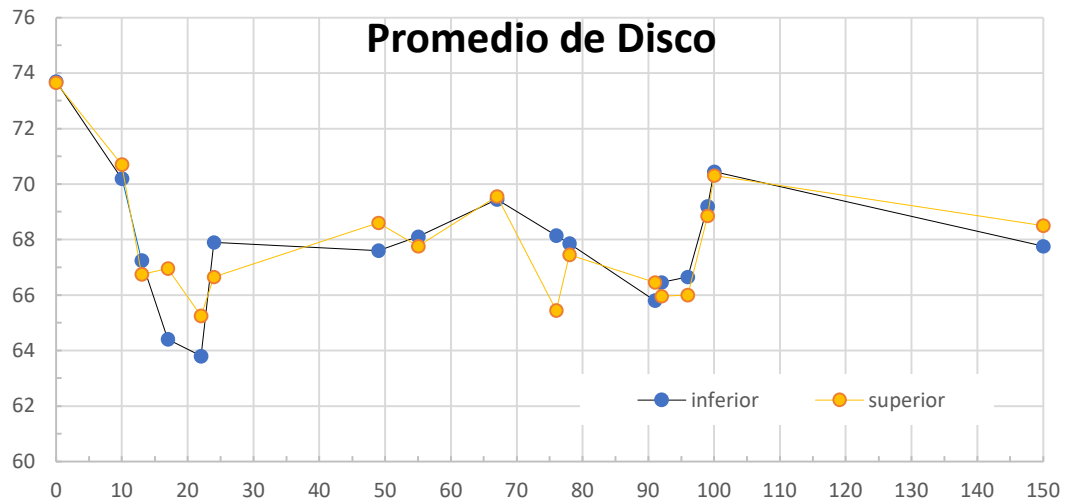


Figura 7: Discos fijos, variación promedio de dureza Shore A vs número de usos

En el segundo juego de neopreno, solo se rotaron los discos, pero conservaron su ubicación en el cabezal superior y el cabezal inferior luego de cada uso. La Figura 8, muestra la variación promedio de la dureza Shore A frente a la acumulación de usos.

En el tercer juego de discos de neoprenos se realizó la rotación de los mismos luego de cada ensayo, y en el próximo ensayo, además, se los intercambió entre el cabezal superior e inferior, para luego iniciar el ciclo nuevamente. La Figura 9, muestra de manera representativa los valores promedios de cada cabezal.

Organiza:

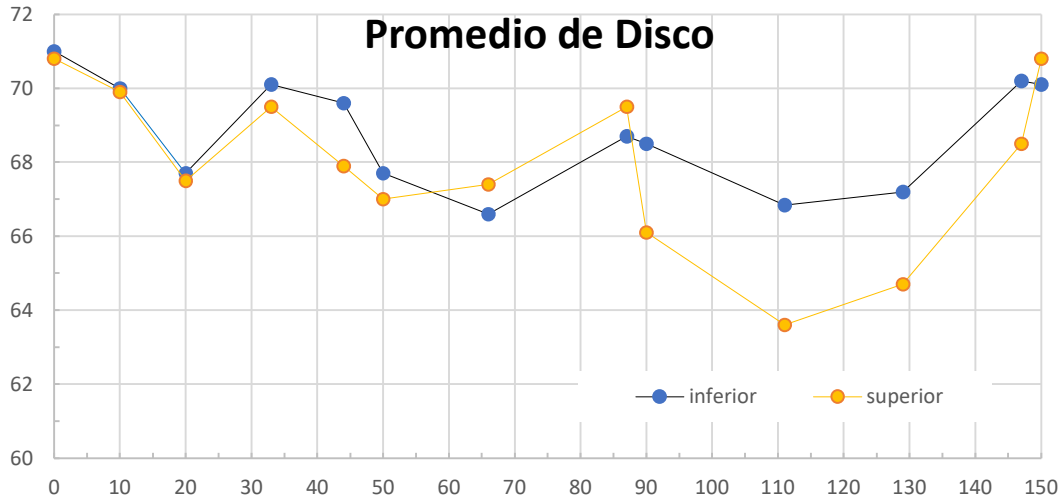


Figura 8: Discos rotados, variación promedio de dureza Shore A vs número de usos

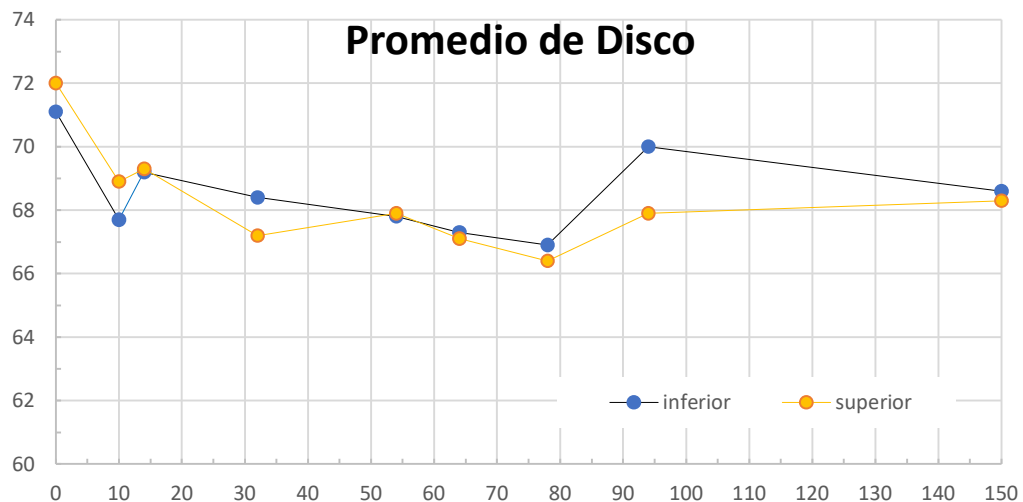


Figura 9: Discos rotados e intercambiados, variación promedio de dureza Shore A vs número de usos

La Figura 10, refleja el promedio generalizado de todas las caras y todas las posiciones de cada juego de discos según el procedimiento de ensayo. En esta figura se puede magnificar el deterioro de los discos desde el punto de vista de la dureza, en función de su forma de uso, donde se destaca que los discos fijos tienen un deterioro abrupto al inicio de su vida cercano a los 20 usos, por mantener su posición y estar expuestos a la cara más irregular de la probeta. Los discos que son rotados pero que mantienen su posición original en el cabezal, presentan la influencia del

Organiza:

deterioro del disco superior frente al disco a inferior degradando su calidad próxima a los 100 usos; finalmente, los discos que además de rotarlos se intercambian con la posición del cabezal, tiene una degradación paulatina de su aspecto y dureza, incluso hasta alcanzar los 150 usos.

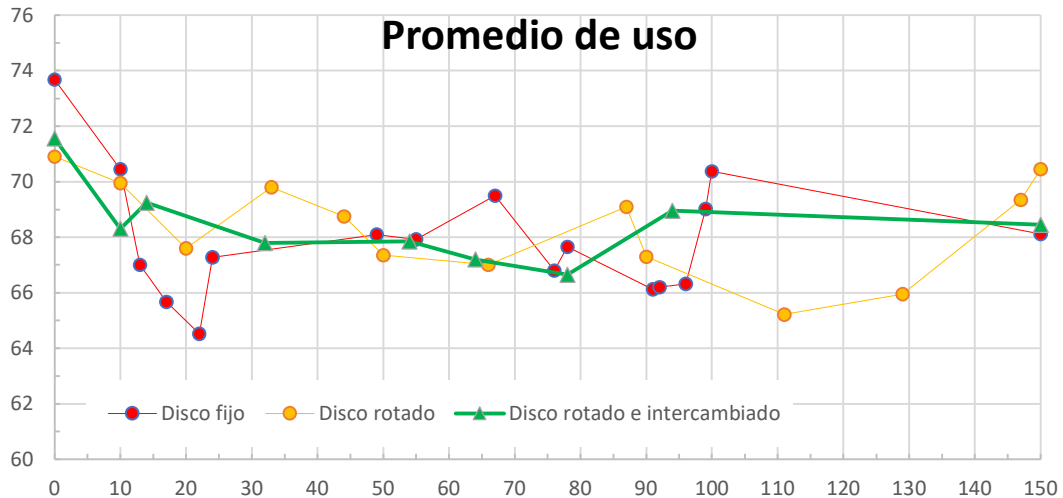


Figura 10: Comparativa según el modo de uso del par de discos de neopreno, variación promedio de dureza Shore A vs número de usos

Entre las Figuras 11 y 17, se puede observar cómo los diferentes discos se encuentran alterados luego de 150 usos, estando en concordancia con el análisis de la Figura 10, donde se muestra la variación de la dureza Shore A con la acumulación progresiva de ensayos.



Figura 11: Disco fijo superior e inferior, vista de su cara en contacto con la probeta, luego de 150 usos.

Organiza:



Figura 12: Disco fijo superior e inferior, vista de su cara en contacto con el disco de contención, luego de 150 usos.



Figura 13: Disco rotado superior e inferior, vista de su cara en contacto con la probeta, luego de 150 usos.



Figura 14: Disco rotado superior e inferior, vista de su cara en contacto con el disco de contención, luego de 150 usos.

Organiza:



Figura 15 Disco rotado e intercambiado superior e inferior, vista de su cara en contacto con la probeta, luego de 150 usos.



Figura 16: Disco rotado e intercambiado superior e inferior, vista de su cara en contacto con el disco de contención, luego de 150 usos.



17.a) Disco fijo



17.b) Disco rotado



17.c) Discos rotados e intercalados

Figura 17: Vista lateral del disco superior, luego de 150 usos.

Organiza:

Continuando con el procedimiento de la norma IRAM 1709:2016, luego de 150 usos, se procede a calificar el par de discos de neopreno y verificar si se pueden seguir usando de acuerdo a la comparativa de los resultados obtenidos en torno a la media y dispersión de los mismos sobre ensayos con otro tipo de encabezado (de azufre en este caso). Cabe remarcar que en esta etapa se descartan los dos primeros pares de discos (discos fijos, discos rotados) por tener variaciones de su dureza Shore A mayor a 5 unidades y presentar deterioros significativos en su forma y aspecto. Por eso solo se califica el tercer par de discos que fueron usados rotándolos e intercambiando entre cabezales.

Del nuevo pastón de hormigón de calidad H-30, se realizaron ensayos de probetas trillizas, donde una de ellas se ensayó con encabezado de azufre, otra con discos de neopreno nuevo y la tercera con los discos con 150 usos.

Según indica la norma, utilizando la expresión (1), y como se indica en la Tabla 2, recordando que también en estos casos particulares $t = 1,833$, resulta que para los discos con 150 usos se cumple dicha igualdad, siendo $43,21 \geq 40,46$, y esto nos indica que el sistema califica, donde los resultados obtenidos demuestran un nivel de confianza del 95%, y podemos seguir usando los discos. En el caso de la evaluación de los discos nuevos con cero usos también se cumple dicha igualdad, siendo $43,30 \geq 40,42$ y esto nos da el dato extra que el valor promedio de resistencia a compresión entre los discos con 150 uso y con cero usos, son prácticamente iguales (99.8% menor).

Par de probetas N°	Azufre [MPa]	Neopreno s/uso [MPa]	Diferencia [MPa]	Neopreno c/150 usos [MPa]	Diferencia [MPa]
1	38,48	44,88	6,40	43,70	5,22
2	41,28	43,65	2,36	43,27	1,99
3	40,36	42,29	1,92	42,59	2,23
4	38,84	43,01	4,17	43,66	4,82
5	33,38	40,61	7,23	41,98	8,60
6	36,53	42,02	5,48	42,47	5,93
7	43,94	44,35	0,41	45,24	1,30
8	43,15	43,50	0,35	42,76	-0,39
9	40,39	44,95	4,56	42,97	2,58
10	40,95	43,79	2,84	43,41	2,46
PROMEDIO	39,73	43,30	3,57	43,21	3,47
Desviación standard			2,39		2,63
Valor de comparación			40,32		40,46

Tabla 2. Valores de compresión medidos y cálculos, con diferentes encabezados en grupo de probetas trillizas.

Organiza:

CONCLUSIÓN

Las diferentes alternativas o procedimientos de uso de placas de neopreno arrojaron excelentes resultados. Se pudo corroborar el aumento de número de usos, manteniendo las características de los discos hasta los 150 usos. Para lograrlo, los discos deben usarse rotando sus caras e intercambiándose entre los cabezales luego de cada uso.

La ventaja que posee el encabezado de neopreno, frente al de azufre, es que, por ejemplo, no se necesitan dispositivos de alineación para cada tamaño de probeta a ensayar, tampoco se requiere de elementos de mano tal como olla, calentador, cucharón y demás accesorios e instalaciones de ventilación para eliminar los gases al exterior y mantener el mortero de azufre fundido en hornos específicos para este fin. Tampoco se requiere de espacio para el acopio de materias primas necesarias para confeccionar el mortero de azufre, ni un lugar de deposición final especial de los ensayos debido a este tipo de encabezado. Además, es imprescindible contar con los elementos de seguridad para los operarios, tales como guantes, elementos de protección para quemaduras, gafas y máscaras de seguridad. A su vez, se pudo corroborar una mayor eficiencia del operario ya que se reduce el tiempo de confección de encabezado en un 51.7%.

El análisis de costos es mucho más simple en el caso de encabezados de neopreno que para el caso del azufre, ya que se necesitan discos metálicos de usos prácticamente indefinidos y placas de neopreno; no se necesitan instalaciones especiales ni un empleado destinado específicamente al encabezado ya que el mismo operario de la prensa es quien encabeza la probeta inmediatamente antes del ensayo, al colocarla entre los discos y placas. Se puede mencionar que, si la cantidad de usos de los discos de neopreno es igual a 100, la relación de costo neopreno/azufre, es del 35.0%; si aumentamos el número de usos a 200, la relación de costo neopreno/azufre, disminuye al 17.50%, y finalmente si lo extendemos a 300 usos la relación de costo neopreno/azufre alcanza el valor de 11.7%.

La desventaja que posee la utilización de encabezados de neoprenos es la calificación, donde se deben moldear al menos 10 pares de probetas gemelas, al inicio y cada 100 usos, y, en el mejor de los casos, descartarse luego de 300 usos.

Las caras de la probeta, su paralelismo y terminación debe ser de buena condición, caso contrario, las placas de neopreno se degradan de sobremanera. Eso mismo ocurre si se superan los límites de tensión máxima de las placas de neopreno. Se debe recordar que las placas de menor dureza Shore, se degradan más rápido, disminuyendo fuertemente su número de usos.

Para futuras líneas de estudio, se debería cuantificar el envejecimiento y degradación de las placas de neopreno, llegando a los 200 usos e incluso hasta los 300 usos, considerando además diferentes calidades, marcas y durezas disponibles en el mercado.

Se observó que cuando los discos de neopreno se usan rotando sus caras e

Organiza:

intercalando su posición, se deterioran sus bordes por el contacto con las aristas de la probeta de hormigón, quedando en buen estado el centro de los mismos. Esta situación podría ameritar el estudio futuro del reciclado de discos de neopreno, pasando de diámetro 15 cm a diámetro 10 cm.

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

[1] Carlos A. Milanes, et al “USO DE PLACAS DE NEOPRENO PARA LA EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN” (2020) AATH2020, IX Congreso Internacional y 23ª Reunión Técnica, La Plata, Argentina.

Norma IRAM 1524:2015. “Hormigón de cemento. Preparación y curado en obra de probetas”

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

Norma IRAM 1553:1983. “Hormigón de cemento Portland. Preparación de las bases de probetas cilíndricas y testigos cilíndricos, para ensayo de compresión”

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”

Norma IRAM 113003:1989. “Elastómeros y plastómeros. Método de determinación de la dureza Shore A y Shore D”

Organiza: