

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE RECUBRIMIENTO EN EL ENSAYO DE SUCCIÓN CAPILAR EN HORMIGÓN

Leandro E. Carrizo¹, Yury A. Villagrán-Zaccardi^{1,2,3}, Claudio J. Zega^{1,3}

¹ LEMIT-CIC, La Plata, Argentina, leandrocarrizo1@gmail.com

² Magnel-Vandepitte Laboratory for Structural Engineering and Building Materials, Ghent University, 9052, Zwijnaarde, Bélgica, yuryvillagran@conicet.gov.ar

³ CONICET, Argentina, hormigones@lemit.gov.ar

RESUMEN

El reglamento CIRSOC 201 establece que deben tomarse ciertos recaudos al diseñar estructuras que serán utilizadas para transporte o contención de agua. Parte de los requisitos para este tipo de estructuras se refieren a límites establecidos para la velocidad de succión capilar. El reglamento establece que esta propiedad debe determinarse de acuerdo a la norma IRAM 1871. Esta norma dispone que la cara lateral de las probetas debe estar impermeabilizada al momento de realizar el ensayo. Sin embargo, el método de impermeabilización queda a criterio del operador. En este trabajo se evalúa la influencia del tipo de recubrimiento utilizando 3 tipos de impermeabilización: pintura a base de resina de caucho clorado, pintura a base de resina epoxídica y cinta metálica de aluminio auto adherente. A tal fin, se elaboró un hormigón H-30 y se moldearon 18 probetas, quedando grupos de 6 probetas por cada tipo de recubrimiento analizado.

Palabras claves: succión capilar, recubrimiento, preacondicionamiento.

INTRODUCCIÓN

La durabilidad del hormigón, que es la capacidad que tiene el mismo de resistir a la acción del ambiente o cualquier otro proceso que tienda a deteriorarlo, está íntimamente relacionada con la posibilidad del ingreso de agua a través de su estructura de poros. Ya sea por fenómenos físicos o químicos, el ingreso de agua se traduce en un deterioro acelerado del hormigón. Para el diseño de hormigones durables resulta de suma utilidad el ensayo de succión capilar, ya que es un indicador cualitativo de las propiedades de transporte del hormigón. Cuando una estructura de hormigón está destinada a transporte o contención agua, el reglamento CIRSOC 201-05 [1] establece criterios entre los cuales se encuentra el límite para la velocidad de succión capilar, fijado en $4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$ de acuerdo al procedimiento de ensayo indicado en el IRAM 1871 [2].

Si bien existe un consenso generalizado respecto a que el ensayo de velocidad de succión capilar se encuentra íntimamente relacionado con la porosidad del hormigón, y por lo tanto con su relación a/c , no se ha podido establecer una relación única entre estas propiedades debido a la alta dispersión que este ensayo presenta en los antecedentes encontrados [3]. Resulta importante determinar las causas de esta variabilidad y buscar métodos adecuados para reducir la dispersión. De esta manera puede ser posible incrementar la reproducibilidad y representatividad del método.

La norma IRAM 1871 indica el procedimiento según el cual el ensayo debe ser realizado, pero deja algunas variables a criterio del operador. González et al. [4] analizaron la influencia de la temperatura del agua durante la succión y la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en el agua, concluyendo que el resultado del ensayo es fuertemente dependiente de ambas variables. Alderete et al. [5] estudiaron cómo influye el número de especímenes (que la norma establece en tres como mínimo) con los que se realiza el ensayo. Guzmán et al. [6] atribuyen la dispersión del ensayo a la variación de la concentración de humedad interna de las probetas al inicio del ensayo, lo mismo concluyen Martínez et al. [7] y proponen un método de acondicionamiento alternativo para las probetas.

Sin embargo, no se han realizado trabajos comparativos concluyentes respecto al método de impermeabilización de las probetas. Este podría ser potencialmente uno de los principales factores del preacondicionamiento que generan variaciones significativas. La norma dispone que los laterales de las probetas deben ser impermeabilizados, pero no establece un método determinado para utilizar a tal fin. La impermeabilización en sí misma es un término relativo, ya que cualquier película tendrá una pequeña permeabilidad, varios órdenes por debajo de la permeabilidad del hormigón, pero que eventualmente podría afectar el procedimiento de preacondicionamiento.

La pérdida de humedad durante el secado depende directamente de la eficiencia de la impermeabilización lateral. Cuando se secan las probetas en estufa, si la impermeabilización perimetral fuera perfecta, la pérdida de humedad se produciría solamente por las caras circulares de las muestras. Sin embargo, pueden existir algunos pequeños poros que no son perfectamente sellados por la pintura, así como una cierta permeabilidad de la pintura misma. Por ejemplo, en estudios de inmersión en solución de cloruro, se determinó que la pintura de caucho clorado no es perfectamente impermeable a los iones cloruro [8]. Teniendo en cuenta que el tamaño de la molécula de agua (0,27 nm) es comparable a la del ion cloruro (0,18 nm), parece lógico pensar que un recubrimiento con esta pintura también sería permeable al vapor de agua. Aun así, debe hacerse una pequeña diferenciación ya que la exposición a cloruro sucede por períodos prolongados mientras que el secado en estufa es un proceso que dura no mucho más de una semana. Por otra parte, métodos como el recubrimiento con pintura epoxi son más aceptados en términos universales para cualquier tipo de impermeabilidad. Aunque efectivo, el método no es muy práctico de aplicarse debido a que trabajar con un material de curado químico genera mayor desperdicio y la viscosidad de este tipo de pinturas no es muy conveniente. Finalmente, la utilización de cinta de aluminio auto adherente se presenta como un método sumamente práctico, pero que no ha sido comprobado aún. Otros métodos como la utilización de pintura asfáltica también resultan ampliamente utilizados. La comparación entre los diferentes métodos de impermeabilización resulta de alto interés práctico para incrementar la reproducibilidad del ensayo de succión capilar.

Este trabajo se propone analizar la influencia que el tipo de impermeabilización tiene en los resultados de velocidad de succión capilar y capacidad de succión capilar. Los métodos de impermeabilización evaluados son: pintura a base de resina de caucho clorado, pintura a base de resina epoxídica y cinta metálica autoadhesiva de aluminio. También se analizó la influencia de la posición de las muestras respecto a la probeta de 10x20 cm moldeada originalmente, utilizándose tanto la muestra obtenida del sector entre 3 y 8 cm desde la base de las probetas (de acuerdo a lo indicado en IRAM 1871), así como del sector inmediatamente superior (entre 8 y 13 cm desde la base de las probetas).

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Materiales y mezclas

Para la realización de este estudio se empleó un hormigón de nivel resistente H-30 producido en una planta elaboradora de hormigón, cuya dosificación se muestra en la Tabla 1. Con dicho hormigón se moldearon 3 probetas de 15x30 cm, para determinación de la resistencia a compresión a 28 días, y 18 probetas cilíndricas de 10x20 cm, destinadas a la realización del presente estudio. Todas las probetas fueron desmoldadas a las 24 horas de su moldeo y luego mantenidas en cámara húmeda (T: 23±2 °C; HR > 95 %) hasta la edad de 28 días.

Tabla 1: Dosificación del hormigón.

Materiales	Kg/m ³
Cemento (kg)	320
Agua (kg)	155
Arena fina (kg)	664
Arena gruesa (kg)	199
Piedra 6/20 (kg)	978
Aditivo 90E (kg)	2,20
a/c	0,48

Procedimiento

Las probetas fueron aserradas a 3, 8 y 13 cm desde su base a fin de obtener 2 discos por probeta, como se indica en la Figura 1. Los discos resultantes en los extremos fueron descartados, empleándose los dos discos interiores de 5 cm de espesor cada uno, denominados inferior (I) y superior (S). Los discos I corresponden a las muestras que indica la norma IRAM 1871 para realizar el ensayo de succión capilar, mientras que los discos S fueron obtenidos para evaluar la influencia de la ubicación de la probeta en relación a la probeta de 10x20 cm, así como para mejorar el análisis estadístico del estudio mediante un mayor número de resultados. De esta manera se obtuvieron un total de 36 discos (18 discos I y 18 discos S).

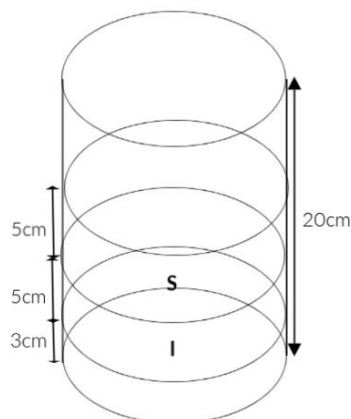


Figura 1: Esquema de corte de las probetas.

De cada uno de los grupos de 18 muestras, 6 fueron impermeabilizadas con pintura de caucho clorado (Caucho-I y Caucho-S), 6 fueron impermeabilizadas utilizando una pintura a base de resina epóxica (Epoxi-I y Epoxi-S) y las 6 restantes se impermeabilizaron

utilizando cinta adhesiva de aluminio (Cinta-I y Cinta-S). Cada serie se compone de la misma cantidad de discos I y discos S.

La elección de estos tres tipos de recubrimiento responde a que los mismos presentan ventajas y desventajas relativas en diversos aspectos, y aún así todos son a priori aptos para la ejecución del ensayo de succión capilar.

Una vez impermeabilizadas, las probetas fueron sumergidas en agua durante 72 horas para asegurar su saturación, tal como está indicado en la norma IRAM 1871. Posteriormente, las probetas fueron sometidas a un secado en estufa a 50 °C registrando su peso cada 24 horas hasta obtener una variación de peso inferior al 0,1 % de peso en 24 horas. El siguiente paso fue colocarlas en un recipiente con agua de forma tal que los 3 mm inferiores de las probetas quedaran sumergidos, esto es, la cara aserrada a los 3 cm para las muestras I y la cara aserrada a los 8 cm en las muestras S. Se registró el peso de cada probeta al inicio del ensayo y a los intervalos de tiempo indicados por la norma. Finalmente, para cada serie se graficaron los incrementos de peso por unidad de área en función de la raíz cuadrada del tiempo. Para la obtención de los parámetros de capacidad y velocidad de succión capilar se siguieron los lineamientos de la norma, considerando para ello cada tipo de recubrimiento y cada grupo (I y S) como series independientes.

RESULTADOS

En la Figura 2 se presentan los resultados de velocidad de succión capilar obtenidos para cada grupo de muestras. Se observa que la velocidad de las muestras S estuvo entre un 6 y un 14 % por encima de la velocidad de las muestras I, para un mismo tipo de recubrimiento. Esto es un resultado esperado ya que la exudación favorece el desarrollo de más porosidad capilar en el sector superior de las probetas. Aun así, la dispersión de resultados muestra que las diferencias no tienen gran significancia desde el punto de vista estadístico para la cantidad de muestras analizadas.

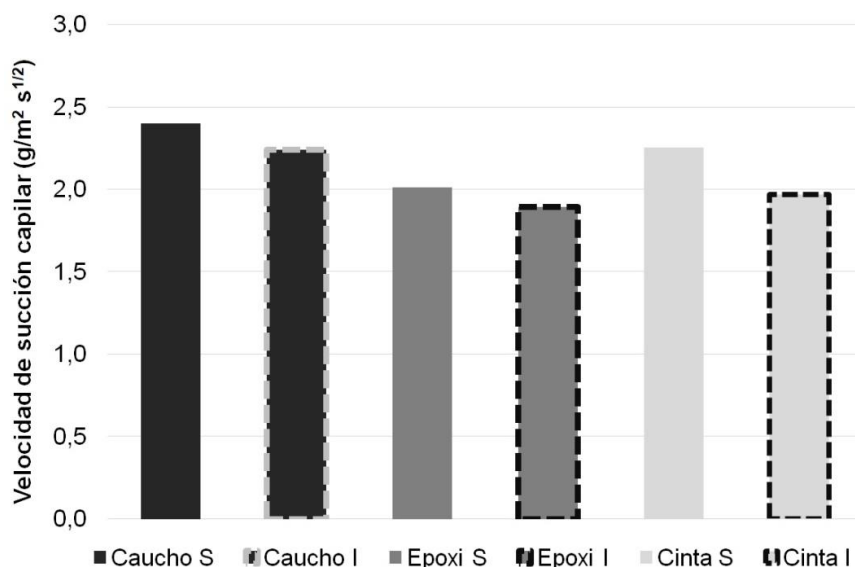


Figura 2: Velocidades de succión capilar según tipo de recubrimiento.

La velocidad de la serie Epoxi I fue la menor, siendo superada en un 4 % por la serie Cinta I y en un 18 % por la serie Caucho I. En cuanto a la serie S, Epoxi S fue también la de menor velocidad, siendo superada por Cinta S y Caucho S en un 11 y 24 % respectivamente. Estas tendencias se repiten en los resultados de capacidad de succión

capilar que se muestran en la Figura 3. Una observación importante es que la diferencia entre velocidades de succión capilar de acuerdo al tipo de recubrimiento es notablemente mayor a la diferencia que existe entre las series S y las series I. Es decir, el tipo de recubrimiento influyó más en el resultado que si la muestra se toma del sector 3-8 cm o 8-13 cm. Esta observación es válida para este hormigón en particular, mientras que las diferencias entre I y S podrían ser mayores en hormigones con mayor exudación. Las diferencias halladas entre los diferentes recubrimientos se pueden explicar por el proceso de absorción capilar, pero potencialmente también por una pérdida de humedad diferente de las muestras durante el secado. Esta última posibilidad parece más probable a la vez que es la que tiene mayores implicancias respecto al análisis del procedimiento en cuanto al tipo de impermeabilización.

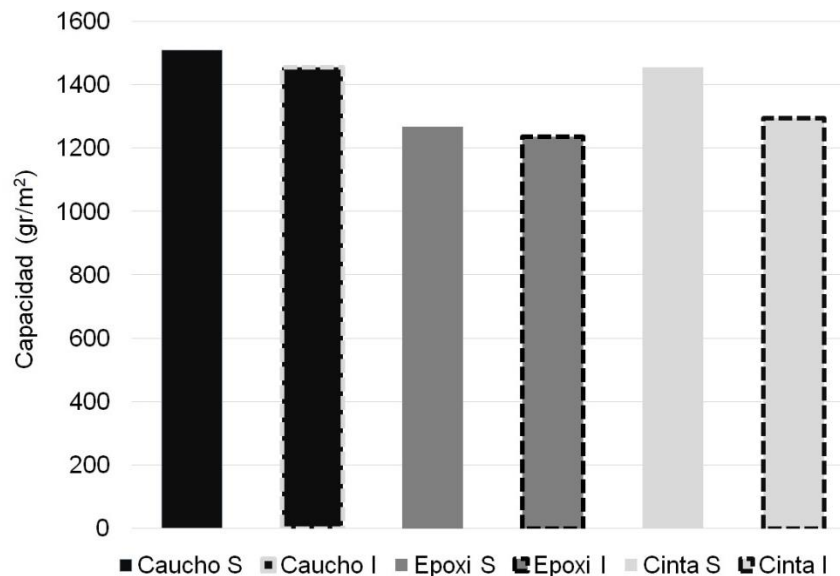


Figura 3: Capacidades de succión capilar según tipo de recubrimiento.

En la Figura 4 se presentan las curvas de secado promedio de las probetas correspondientes a cada serie y tipo de recubrimiento empleado. Puede observarse que la serie Epoxi-I y Epoxi-S fueron las que menos se secaron, seguidas por Cinta-I, luego Caucho-I y finalmente el porcentaje de pérdida de humedad de las series Caucho-S y Cinta-S fue muy similar entre sí. Cabe destacar que la diferencia entre todas las curvas se encuentra en un rango inferior al 0,5 %.

En la Figura 5 se muestra la velocidad de succión capilar en función del porcentaje de secado, para cada serie. Se observa una cierta tendencia a incrementarse la velocidad de succión a medida que aumenta el porcentaje de humedad perdido durante el secado. Esta observación coincide con resultados analizados previamente [9], donde el grado de desecamiento de las muestras juega un papel preponderante en el valor obtenido para la velocidad de succión capilar. Se observa claramente que los diferentes tipos de recubrimiento empleados permiten diferentes pérdidas de humedad, que se traduce en mayores velocidades de succión al momento de evaluar al hormigón. En este sentido, el método más eficiente de impermeabilización resultaría ser el de pintura epoxi, que al permitir un menor secado, produciría una menor velocidad de succión capilar.

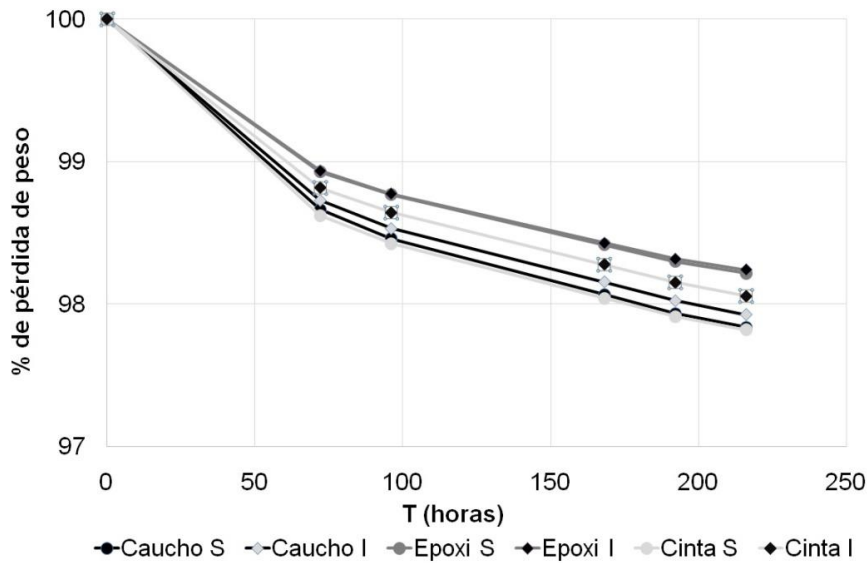


Figura 4: Curvas de secado hormigón A.

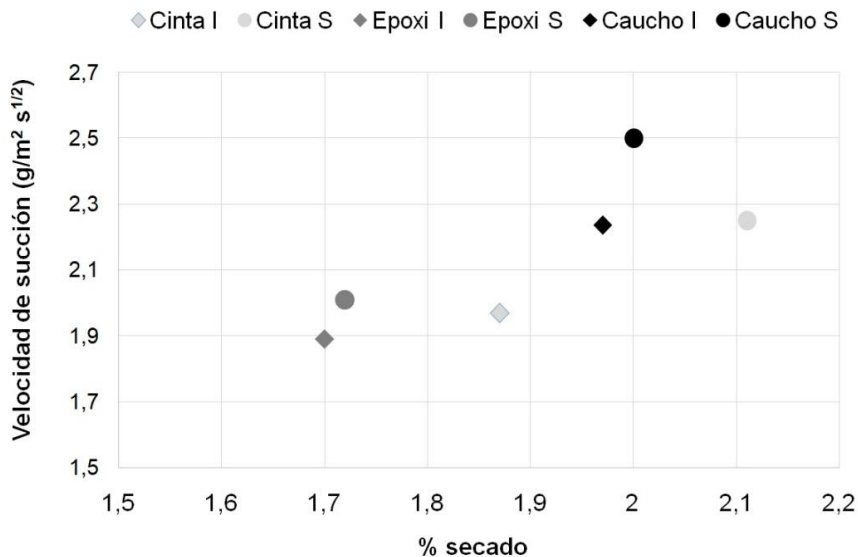


Figura 5: Velocidad de succión capilar en función del porcentaje de secado.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros de succión capilar empleando tres tipos diferentes de recubrimientos impermeabilizantes (Caucho, Epoxi y Cinta de Aluminio), considerando además muestras aserradas a diferentes alturas de la probeta de 10x20 cm, para el hormigón evaluado en este trabajo se desprende que:

- Las probetas impermeabilizadas con el recubrimiento Epoxi presentaron las menores velocidades y capacidades de succión capilar, seguidas por las recubiertas con cinta, siendo las revestidas con pintura a base de Caucho las que presentaron los mayores valores en ambos parámetros.
- El tipo de recubrimiento afecta el secado de las muestras, modificando el contenido de humedad de las mismas al momento de iniciar el ensayo. Esta diferencia en el % de saturación de las muestras parece la principal causa en las variaciones observadas tanto en las velocidades como en las capacidades de succión capilar de las muestras.

- La posición de la muestra referida a la probeta moldeada (I vs S), afecta los resultados del ensayo. Las muestras S, por estar situada más arriba en la probeta, tienen mayor porosidad capilar debido a la exudación, lo cual se traduce en mayores velocidades y capacidades. No obstante ello, el tipo de recubrimiento empleado tiene una mayor influencia sobre los parámetros de succión capilar que la ubicación de la probeta de ensayo. Ya que los criterios de la norma otorgan importancia a la ubicación, más aún entonces debería tener en cuenta el método de impermeabilización lateral como una potencial fuente de variabilidad.

REFERENCIAS

- [1] CIRSOC 201-2005, "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón", INTI, Buenos Aires, Argentina, (2005), 452p.
- [2] IRAM 1871, "Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido", IRAM, Argentina, (2004).
- [3] Mattio ME, Ichaso A, Irigoien P, López R, "La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del hormigón", VI Congreso Internacional y 20ª Reunión Técnica de la AATH, (2014), 247-254.
- [4] González M, Rahhal V, "Succión capilar en hormigones: variación de la temperatura y de la concentración del Na(OH) en el agua de ensayo", V Congreso Internacional y 19ª Reunión Técnica de la AATH, (2012), 183-190.
- [5] Alderete N, Villagrán Zaccardi Y, Di Maio A, "Determinación de la velocidad de succión capilar del hormigón a partir de diferentes números de especímenes", VI Congreso Internacional y 20ª Reunión Técnica de la AATH, (2014), 295-302.
- [6] Guzmán M, Luna A, López R, "Determinación de la capacidad y velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido: Estudio de factores del ensayo que pueden influir en los resultados", VI Congreso Internacional y 20ª Reunión Técnica de la AATH, (2014), 255-262.
- [7] Martínez L, López R, "Determinación de la capacidad y velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido: Preacondicionamiento alternativo al ensayo según norma IRAM 1871", VII Congreso Internacional y 21ª Reunión Técnica de la AATH, (2016), 429-436.
- [8] Villagrán Zaccardi YA, Ingreso de cloruro en hormigones de cemento pòrtland compuesto. Influencias del tiempo y de la capacidad de fijación, Tesis de Maestría, UNCPBA, (2009).
- [9] Villagrán Zaccardi YA, Zega CJ, Sosa ME, "¿Cuán apto es el método para medir velocidad de succión capilar cuando es aplicado en hormigones de muy baja capilaridad?", 19ª Reunión Técnica y V Congreso Internacional de la AATH "Ing. Oscar R. Batic", (2012), 87-94.

