

## DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN CAPILAR EN HORMIGONES ELABORADOS CON AGREGADOS NATURALES Y RECICLADOS

Taus, Valeria L.<sup>1</sup>

### RESUMEN

Este trabajo se refiere a la determinación de la absorción capilar de hormigones de diferentes características tecnológicas (elaborados con agregados naturales y reciclados), analizándose comparativamente la variación existente entre los mismos. Además, se cuantifica dicha propiedad mediante la tasa de absorción capilar cuya evaluación se efectúa en ambos hormigones y en distintos sectores de una misma muestra.

### INTRODUCCIÓN

Existe un gran número de estructuras de hormigón armado que, ejecutadas cumpliendo estrictamente los requisitos resistentes, al cabo de algunos años comienzan a deteriorarse (1). Ello condujo a que en los reglamentos modernos, los requerimientos relativos a la durabilidad de las barras empotradas comenzaran a cobrar una significativa importancia.

Actualmente hay una fuerte tendencia por encontrar métodos que permitan evaluar aquellas propiedades de los hormigones que se encuentran directamente relacionados con su durabilidad (2-3), que en la mayoría de los casos depende de manera directa de la facilidad con la que los agentes agresivos ingresan y se mueven en el interior de la estructura porosa del hormigón.

Las características de los primeros centímetros exteriores de las estructuras de hormigón armado (conocido internacionalmente como "cover concrete") desempeñan un rol fundamental en la durabilidad de la armadura. El hormigón de recubrimiento es el que se encuentra en contacto con el medio y por lo tanto, el que constituye la barrera de protección de la zona interna condicionando el ingreso de sustancias agresivas que pueden degradar tanto al hormigón como a las armaduras. Su calidad dependerá de la estructura de poros y, fundamentalmente, de la distribución y conectividad de los mismos (2,4).

Resulta entonces conveniente evaluar la durabilidad potencial del hormigón, para lo cual se deben determinar las propiedades de la zona externa del mismo. No existe un método que por sí solo nos permita evaluar la durabilidad de una estructura, razón por la cual se recurre para su caracterización al empleo de métodos basados en la absorción y/o permeabilidad a los fluidos (2,3,5).

---

<sup>1</sup> Becario CIC-LEMIT.

Directores: A. A. Di Maio – (Investigador CONICET-LEMIT)

L. P. Traversa – (Investigador CIC-LEMIT - Director del LE MIT)

valetaus@hotmail.com

Durante años la permeabilidad se utilizó como parámetro de caracterización de la circulación del agua. Existen estructuras en las que la permeabilidad resulta ser el parámetro principal para determinar la aptitud que un cuerpo poroso (hormigón) ofrece a ser penetrado por un fluido cuando aquél se encuentra sometido a un diferencial de presión, por ejemplo un dique o un depósito. Pero existen otras estructuras, como las edificaciones, que no se encuentran sujetas a gradientes de presión, en donde si bien la permeabilidad puede servir como un indicador de la calidad del hormigón que las constituye, lo que interesa conocer es el transporte de agua que se produce por capilaridad, cuando el contacto con la misma es sólo por una de las caras de la estructura.

La propiedad que mejor refleja la capacidad del material para absorber y transmitir agua por capilaridad es la absorción capilar (6-8) y el parámetro que la caracteriza es la tasa de absorción capilar, velocidad de ascensión capilar o sorptivity. Este parámetro representa el mecanismo de transporte que habitualmente se presenta en aquellas estructuras en las que el hormigón se encuentra sujeto a ciclos de humedecimiento y secado (4).

Dada la importancia que reviste la evaluación de aquellas propiedades que condicionan la vida útil de una estructura, en este trabajo se evalúa la calidad de hormigones elaborados con agregados naturales y reciclados de diferentes razones agua-cemento mediante la succión capilar. Esta técnica no se encuentra todavía reglamentada y se halla actualmente en tratamiento para su especificación por el IRAM (9).

## CAPILARIDAD – TASA DE ABSORCIÓN

La tasa de absorción, sorptivity o velocidad de ascensión capilar es una propiedad hidráulica fácilmente mensurable, que caracteriza la tendencia de un material poroso a absorber y transmitir agua a través de su masa por succión capilar (6). Representa la porosidad efectiva o accesible al agua y por lo tanto a los agentes agresivos ambientales (10). La absorción capilar es un caso especial de transporte inducido por la energía (tensión superficial) del agua actuando sobre los capilares del hormigón. El hormigón ejerce acciones atractivas sobre las moléculas situadas en la superficie del líquido provocando con las mismas el llenado de los espacios existentes en su masa (2).

La succión capilar puede ser medida solamente en morteros y hormigones parcialmente saturados, no produciéndose el fenómeno de succión en los materiales saturados (capilares totalmente llenos de agua), mientras que en los materiales totalmente secos la absorción del agua se efectúa en los capilares y también en el gel, por lo cual los resultados no son comparables por encontrarse distorsionados (7). Por lo tanto la tasa de absorción capilar dependerá del contenido inicial de agua y de su uniformidad, por lo que el pre-acondicionamiento de las muestras constituye un factor determinante a la hora de comparar los resultados. Es necesario entonces seguir un procedimiento estandarizado en el secado de las muestras que garantice una distribución uniforme de la humedad en todo el espesor de las mismas (8).

Además del contenido inicial de humedad y de su uniformidad, el transporte de líquidos en sólidos porosos está influenciado por las características del líquido (viscosidad, densidad, tensión superficial), por las características del sólido poroso (estructura de poros y energía superficial) (2), tiempo y condiciones de curado, características de las mezclas y temperatura.

Cuando se somete una muestra de hormigón al contacto con agua por una de sus caras, la cantidad acumulada de agua ( $i$ ) que puede ser absorbida por los capilares del hormigón, considerando un flujo unidireccional de ascenso, es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, es decir:

$$i = S * t^{1/2} \quad [*]$$

donde:

$i$ : masa acumulada de agua absorbida por unidad de área de la sección mojada en  $g/cm^2$ .

$S$ : (Sorptivity) tasa de absorción capilar (pendiente de la curva) en  $g/cm^2 \cdot h^{1/2}$ .

$t$ : tiempo de inmersión o exposición expresado en horas.

En el ensayo de capilaridad se representa gráficamente la ecuación [\*] colocando  $i$  en ordenadas y  $t^{1/2}$  en abscisas.

En la práctica el cálculo de  $S$  se obtiene como la pendiente de la recta que mejor ajusta los puntos experimentales. Habitualmente se encuentra un valor finito de intersección de dicha recta en  $i$  generalmente pequeño y positivo, dado que el punto origen y frecuentemente las lecturas a edades tempranas son omitidos cuando se determina la pendiente de la curva. Esto es atribuido al llenado de los poros abiertos sobre la superficie de afluencia y a lo largo de los lados de las caras adyacentes. Con el fin de minimizar este efecto, se sugiere que la muestra sea sumergida entre 2 y 5 mm (7).

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo las determinaciones de la absorción capilar fueron realizadas sobre dos grupos de hormigones (constituidos por distinto tipo de agregado grueso), uno compuesto en su totalidad por agregados naturales (HAN) y otro por agregados reciclados (HAR) en un 75%, ambos de razones agua-cemento 0.40, 0.50, y 0.60, en los que se obtuvieron valores de resistencia a compresión comprendidos entre 17.8 y 36.7 MPa. Los hormigones con agregados reciclados, fueron elaborados mediante el reemplazo del 75 % en volumen del agregado grueso natural por agregado grueso producto de la trituración de hormigones de desechos. En ambos tipos de hormigones se utilizó un cemento Pórtland compuesto, como agregado grueso, piedra partida granítica de tamaño máximo 25 mm y como agregado fino arena silícea natural.

### Metodología de ensayo

El método para determinar la absorción capilar consiste en registrar la ganancia de masa de una muestra -constituida por una rodaja de hormigón- sometida a la acción del contacto con agua por una de sus caras.

Con los hormigones en estudio se moldearon probetas cilíndricas de 100 x 200 mm, las que fueron curadas en cámara húmeda ( $T: 20 \pm 2^\circ C$ ;  $HR > 95\%$ ) durante 28 días. Posteriormente cada probeta fue aserrada en 3 rodajas de entre 50 y 60 mm de espesor a distintos niveles de la misma. Se obtuvo así una rodaja conteniendo la cara superior o de moldeo, otra conteniendo la cara inferior o de fondo, y una tercera representativa de la zona intermedia de la probeta, cuya cara de ensayo se denominó cara de corte (Ver Fig. 1). Las

caras inferiores de las probetas fueron aserradas, con el propósito de eliminar el efecto de obturación de poros que puede provocar el engrasado del molde.

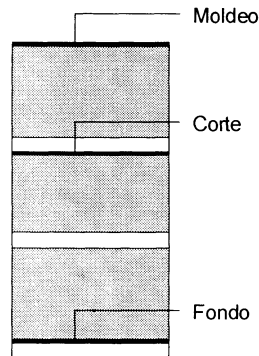


Figura 1: Caras de ensayo.

Previo al ensayo, todas las superficies laterales de las muestras fueron selladas con pintura impermeabilizante. Luego fueron secadas en estufa a  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta peso constante y posteriormente colocadas en el interior de un recipiente, herméticamente cerrado, sobre apoyos puntuales con una altura de agua de 10 mm (Fig. 2). Se ha probado que una altura de 10 mm en la carga de agua hace más práctica su medición y no afecta la determinación de S, esto puede ser verificado a través de los coeficientes de correlación lineal obtenidos para cada curva en particular, como se verá más adelante.

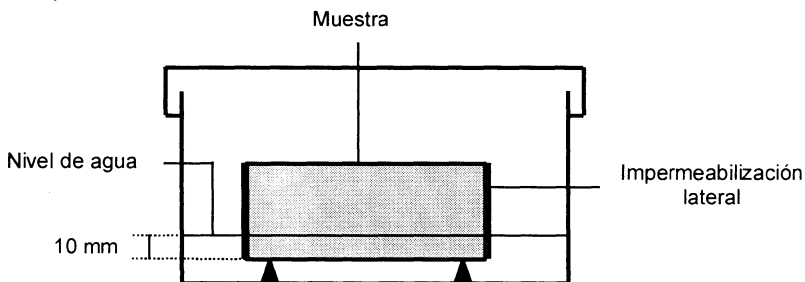


Figura 2: Esquema del ensayo de absorción capilar.

La cantidad de agua absorbida se obtuvo como la ganancia de masa a 15 minutos, 30 minutos y a 1, 1.5, 2, 3, 8, y 24 horas, cuyas determinaciones se realizaron con una balanza con precisión de 0.1g. Cada operación de pesada se completó dentro de los 30 segundos y la temperatura de ensayo se mantuvo a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Cada punto registrado corresponde al promedio de tres determinaciones (tres muestras).

## RESULTADOS Y ANALISIS

En las Fig. 3 a 6 se presentan las curvas correspondientes a los resultados obtenidos en los ensayos de absorción capilar. En ordenadas se representa la cantidad de agua absorbida por unidad de área de la muestra, y en abscisas la raíz cuadrada del tiempo transcurrido. Además, se presentan las tablas conteniendo los valores de las tasas de absorción capilar y los coeficientes de correlación lineal, determinados por mínimos

cuadrados, correspondientes a cada uno de los casos evaluados. Dicha tasa fue calculada como la pendiente de la recta obtenida considerando todas las lecturas a excepción de la correspondiente al origen, aunque se recomienda que los valores de absorción a edades tempranas no sean considerados, dado que pueden tergiversar los resultados (7). En este caso el criterio adoptado se debió a que los coeficientes de correlación lineal arrojaron valores lo suficientemente ajustados como para no hacer necesaria la eliminación de los puntos de las primeras lecturas.

En la Fig. 3 se presentan los resultados de absorción capilar obtenidos en hormigones elaborados con agregados naturales (HAN) de distintas razones a/c correspondientes a la cara de moldeo, y en la Tabla 1 se indican las correspondientes tasas de absorción y coeficientes de correlación. Se puede observar que a medida que se incrementa la razón a/c se obtienen mayores absorciones capilares. Ello se debe a que cuando el hormigón se encuentra en estado plástico, el asentamiento de las partículas sólidas, producto de la acción gravitatoria, fuerza al agua a dirigirse hacia las partes superiores, generando un gran número de poros interconectados entre sí que constituyen los capilares. Este fenómeno será tanto más importante, entre otros factores, cuanto mayor sea el contenido unitario de agua de la mezcla.

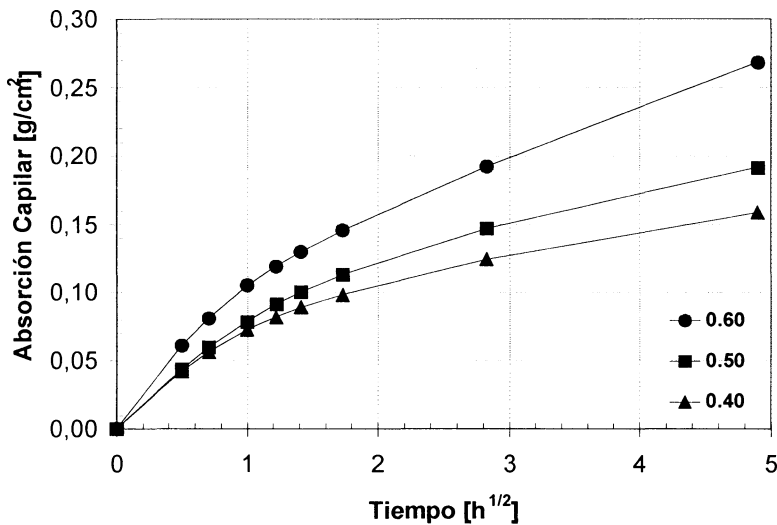


Figura 3: Influencia de la razón agua-cemento sobre la absorción capilar determinada en la cara de moldeo de HAN.

Tabla 1: Tasa de absorción y coeficiente de correlación lineal correspondientes a HAN de distintas razones a/c (cara de moldeo).

Razón a/c	Tasa de absorción [g/cm <sup>2</sup> *h <sup>1/2</sup> ] (S)	Coefficiente de correlación lineal (R <sup>2</sup> )
0,40	0,025	0,935
0,50	0,032	0,944
0,60	0,045	0,974

En la Fig. 4 se ha representado la variación de la absorción capilar en distintos sectores de una probeta correspondiente a un hormigón elaborado con agregados naturales (HAN) de razón a/c 0.60. Se observa claramente que la cara superior o de llenado induce a una mayor succión que en cualquier otro sector de la probeta (mayor proporción de mortero). Ello se debe, como se comentó anteriormente, a la sedimentación preferencial de las partículas más pesadas, por lo que la proporción de agregados gruesos en la cara del fondo supera a la de cualquier otro sector de la probeta, hecho que se ve reflejado en el menor valor de la tasa de absorción capilar (Ver Tabla 2). En cuanto a la cara de corte se observa un comportamiento intermedio.

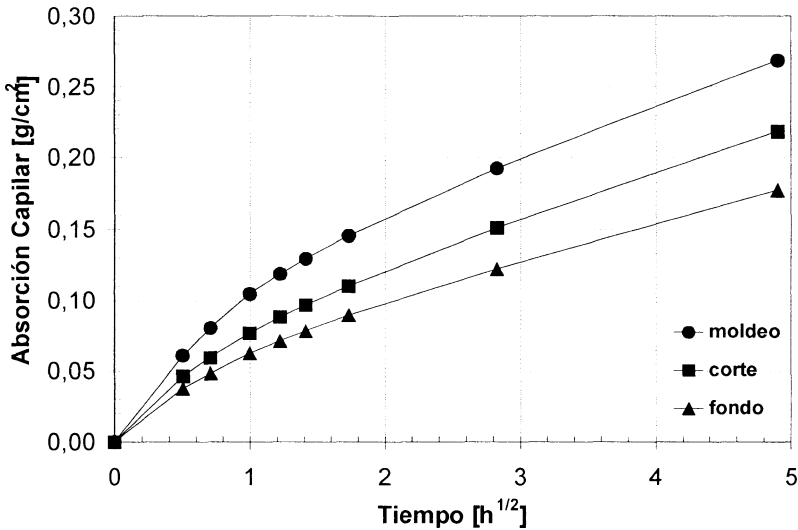


Figura 4: Absorciones capilares en diferentes sectores de una misma probeta de un HAN de razón a/c 0.60.

Tabla 2: Tasa de absorción y coeficiente de correlación lineal en distintos sectores de una misma probeta de un HAN de razón a/c 0.60.

Cara de ensayo	Tasa de absorción [g/cm <sup>2</sup> *h <sup>1/2</sup> ] (S)	Coefficiente de correlación lineal (R <sup>2</sup> )
moldeo	0,045	0,974
corte	0,038	0,986
fondo	0,031	0,987

En la Fig. 5 se indican las absorciones capilares de los hormigones elaborados con agregados naturales (HAN) y reciclados (HAR) determinadas en distintos sectores de las probetas para una razón a/c 0.60, y en la Tabla 3 las tasas de absorción y coeficientes de correlación. Se puede observar que, para una misma cara de ensayo, las absorciones de los hormigones elaborados con agregados reciclados resultaron ser mayores que la de los elaborados con agregados naturales. Este hecho puede atribuirse a que los agregados reciclados presentan absorciones superiores a las de los agregados naturales, dado que los

primeros están constituidos, en la mayoría de los casos, por partículas de agregado natural que tienen adherido mortero del hormigón del cual provienen haciendo al hormigón resultante mucho más permeable, poroso y absorbente. Por tal motivo las diferencias se hacen más marcadas a medida que nos alejamos de la sección superior de la probeta (cara de moldeo), siendo más notorio en la cara del fondo.

Además, puede observarse que en el caso de los hormigones que fueron elaborados con agregados reciclados, para la razón a/c evaluada, las absorciones capilares en las diferentes caras resultaron ser prácticamente coincidentes.

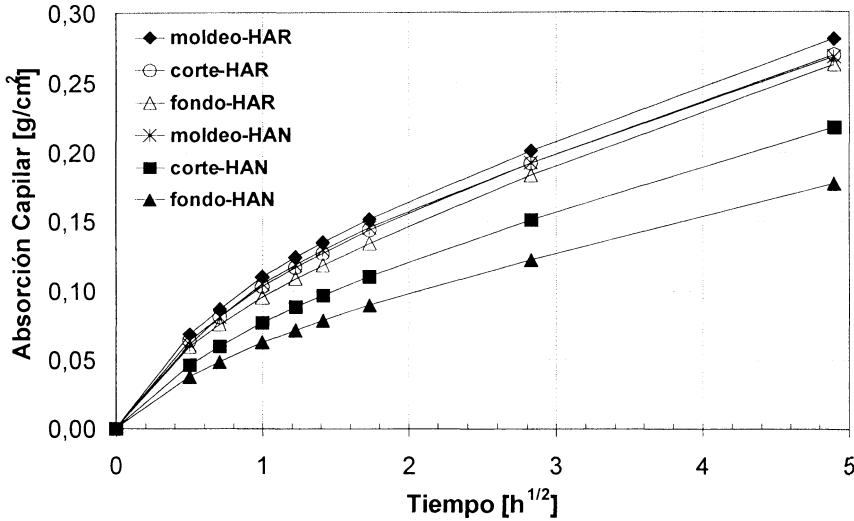


Figura 5: Absorciones capilares obtenidas en distintos sectores de probetas de HAN y HAR ambos de razón a/c 0.60.

Tabla 3: Tasa de absorción y coeficiente de correlación lineal en distintos sectores de las probetas (HAN y HAR, razón a/c 0.60).

Cara de ensayo y tipo de hormigón	Tasa de absorción [g/cm <sup>2</sup> *h <sup>1/2</sup> ] (S)	Coefficiente de correlación lineal (R <sup>2</sup> )
moldeo-HAR	0,047	0,980
corte-HAR	0,045	0,981
fondo-HAR	0,045	0,988
moldeo-HAN	0,045	0,974
corte-HAN	0,038	0,986
fondo-HAN	0,031	0,987

En la Fig. 6 se presentan, para las diferentes razones a/c evaluadas, las absorciones capilares de los hormigones elaborados con agregados naturales y reciclados. Esta determinación se efectuó sobre la cara del fondo dado que es la sección más desfavorable para los HAR. En este caso las absorciones de los HAR fueron un 33%

superiores a las de los HAN. Respecto a las caras de corte y moldeo, no se han incluido las gráficas, pero se puede indicar que las diferencias fueron del 19% y 4% respectivamente. En la Tabla 4 se indican las tasas de absorción y los coeficientes de correlación determinados para el caso de la cara del fondo.

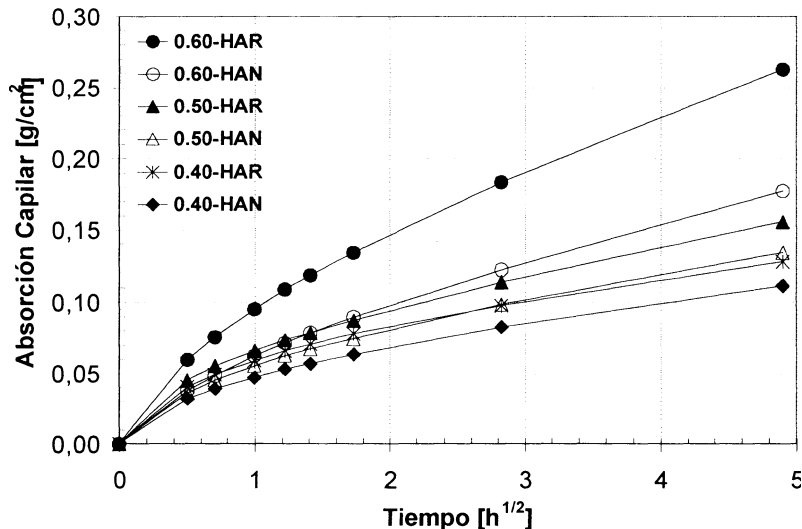


Figura 6: Absorciones capilares determinadas en la cara del fondo de HAN y HAR para distintas razones a/c.

Tabla 4: Tasa de absorción y coeficiente de correlación lineal de HAN y HAR (cara del fondo, razón a/c 0.60).

Razón a/c y tipo de hormigón	Tasa de absorción [g/cm <sup>2</sup> *h <sup>1/2</sup> ] (S)	Coefficiente de correlación lineal (R <sup>2</sup> )
0,60-HAR	0,045	0,988
0,60-HAN	0,031	0,987
0,50-HAR	0,024	0,983
0,50-HAN	0,022	0,979
0,40-HAR	0,019	0,966
0,40-HAN	0,018	0,978

Si se considera a la absorción capilar como uno de los parámetros indicadores de la durabilidad de los hormigones, se puede observar que para el caso de la razón a/c 0.40 (hormigones durables) las absorciones capilares determinadas en ambos tipos de hormigones son prácticamente coincidentes, hecho que también se presenta para la razón a/c 0.50. Las diferencias más importantes se producen para hormigones de bajos niveles resistentes (razón a/c 0.60) en donde las absorciones capilares de los hormigones elaborados con agregados reciclados son más elevadas. Los comportamientos

mencionados pueden ser observados en las tasas de absorción registradas en cada hormigón (Tabla 4).

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en las experiencias realizadas en hormigones de diferentes características tecnológicas, surge que:

- La tasa de absorción determinada en hormigones de diferentes niveles de resistencia, elaborados con el mismo conjunto de materiales, se incrementa a medida que aumenta la razón agua-cemento.
- En hormigones elaborados con agregados naturales pudo determinarse que, en una probeta de 200 mm de altura la tasa de absorción de la cara de moldeo presenta el mayor valor frente a las del medio y fondo. En los hormigones reciclados los valores en las diferentes caras son prácticamente coincidentes.
- Para igual razón agua-cemento se puede observar que la diferencia de absorciones entre los hormigones elaborados con agregados reciclados (HAR) y los naturales (HAN) se hacen importantes en las caras del fondo. En dicha zona existe una mayor proporción de agregados gruesos, hecho que en el caso de los hormigones reciclados se hace más notoria su incidencia ya que presentan una mayor absorción.
- Para niveles de resistencia bajos (razón a/c 0.60) la tasa de absorción determinada en la cara más desfavorable para el caso de los hormigones reciclados (fondo), es del 33% superior a la obtenida en los hormigones elaborados con agregados naturales. Para razones agua-cemento medias y bajas las tasas de absorción en ambos hormigones son similares, hecho que estaría indicando que hormigones elaborados con un 75% de agregado reciclados presentan un buen comportamiento desde el punto de vista de la durabilidad.

## REFERENCIAS

- (1) Di Maio, A.A. y Traversa, L.P. "Comportamiento de estructuras de hormigón armado construidas en distintos ambientes de la Provincia de Buenos Aires." Proc. XII Reunión Técnica AATH, La Plata, Argentina, 1995, pp. 415-426.
- (2) Fernández Luco, L. "Durabilidad del Hormigón Estructural". Proc. XIV Reunión Técnica AATH. Olavaria, Argentina. 2001, capítulo 1 pp. 1-45.
- (3) Di Maio, A.A. y L. P. Traversa. "Determinación de la calidad del hormigón de recubrimiento mediante la evaluación de la permeabilidad." Proc. IV Conferencia Científico-Técnica de la Construcción. La Habana, Cuba, 2000.
- (4) Eperjesi, L., Ferreyra Hirschi, E., Saralegui, G. y Giovambattista, A. "Influencia de las adiciones activas en la calidad del hormigón superficial." Proc. 1er Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón, Bs As, Argentina, 1998, pp. 571-578.

- (5) Camarini, G., Balayssac, J.P. and Detriché, C.H. "Influence of cement type and curing conditions on initial absorption of concrete." High-Performance Concrete, Performance and Quality of Concrete Structures. Proceedings, Second Canmet, ACI International Conference. Gramado, Brasil. 1999, pp.427-443.
- (6) Hall, C. "Water sorptivity of mortars and concretes: a review. Magazine of Concrete Research. Vol 41, N°147, 1989, pp. 51-61.
- (7) Sabir, B.B., Wild, S. and O'Farrell, M. "A water sorptivity test for mortar and concrete." Materials and Structures. Vol 31. 1998, pp. 568-574.
- (8) Menéndez, G., Bonavetti, V.L. e Irassar, E.F. "Absorción capilar en hormigones con cemento compuesto". Hormigón 38, 1998, pp. 25-33.
- (9) Esquema Preliminar Norma IRAM 1871. "Hormigón. Método para la determinación de la capacidad y velocidad de succión capilar de agua para hormigón endurecido." 2003.
- (10) CYTED. DURAR. "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado." 1997, pp. 117-121.