

“ABSORCIÓN POR SUCCIÓN CAPILAR DEL HORMIGÓN”

Becario: Cristian Sakurai

Tutor: Ing. Marcelo F. Barreda

Área Estructuras y Materiales de Construcción

Año 2009

Introducción

La capacidad y la velocidad de succión del hormigón, y particularmente del hormigón de recubrimiento, es un parámetro asociado con la durabilidad de las estructuras de hormigón.

El método es sensible a los cambios de las características de las mezclas y, principalmente, a las condiciones de curado. Por lo tanto resulta una herramienta eficaz para especificaciones basadas sobre el desempeño, dependiendo el resultado del contenido de humedad inicial del hormigón.

Los valores de medición obtenidos deben ser adecuadamente interpretados, en función de las características propias del ensayo, el tamaño de las probetas o testigos, el acondicionamiento previo, etc. Por este motivo, salvo que las condiciones establecidas se respeten estrictamente, los valores que se obtengan sólo tienen valor comparativo.

El reglamento CIRSOC 201 - 2005 establece que los hormigones de las estructuras que estarán sometidas a cualquier clase de exposición, excepto la exposición correspondiente a un medio no agresivo, deben tener una velocidad de succión capilar igual o menor que $4 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$, medida de acuerdo con el ensayo de la norma IRAM 1871.

Absorción por Succión Capilar

El hormigón es un material extremadamente complejo y su comportamiento en servicio depende de numerosos factores: las teorías de cálculo estructural; el diseño de dosificación; los materiales utilizados; los procesos de elaboración, moldeo y curado de la estructura de la cual forma parte y el medio ambiente en el cual se encuentra emplazada.

Luis Fernández Luco (3) sostiene que “la porosidad es un parámetro condicionante de primer orden para asegurar la durabilidad del hormigón, y esta relación se refleja en prácticamente todos los reglamentos y códigos”.

Para profundizar en esta dependencia no basta con considerar la presencia de poros en la masa, hay que analizar también su distribución geométrica y espacial y los mecanismos de transporte de fluidos dentro del hormigón. Dos materiales con igual porosidad pero distinta conectividad entre los poros, se comportarán en forma diferente con respecto al ingreso de agentes agresivos. El material con poros interconectados será más susceptible a este efecto. Los fenómenos capilares influyen en los mecanismos de transporte de líquidos en el hormigón, dadas las características de su sistema de poros, que puede asimilarse a un conjunto de tubos cilíndricos paralelos y de muy pequeño espesor. La absorción capilar es el mecanismo de transferencia de líquidos más rápido, esta está directamente relacionada con la durabilidad del hormigón. Una herramienta confiable para caracterizar la estructura de poros en forma comparativa, es la determinación de la capacidad de absorción capilar.

La succión capilar puede ser medida solamente en morteros y hormigones parcialmente saturados, no produciéndose el fenómeno de succión en materiales saturados, 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. (4)

Además del contenido inicial de humedad y de su uniformidad, cuando el transporte de líquidos en sólidos porosos se debe a la tensión superficial que actúa en los capilares, el transporte del líquido está influenciado por las características del líquido (viscosidad, densidad, tensión superficial), por las características del sólido poroso (estructura de poros y energía superficial), tiempo y condiciones de curado, características de las mezclas y temperatura.(6)

Absorción capilar-durabilidad

Según (7) la durabilidad es la capacidad de la mezcla ya endurecida de soportar sin deteriorarse, las sollicitaciones provocadas por agentes físicos y químicos, que pueden agredir al hormigón, no solo en su superficie, sino también en el interior de su masa, La posibilidad de que el ataque se produzca en el interior del hormigón, se debe a la existencia de los canales capilares, que forman se forman como consecuencia del fenómeno de exudación.

En los casos en que el hormigón deba estar en contacto con líquidos, los mismos pueden introducirse en el interior de la masa del hormigón, utilizando a ese efecto, las vías de acceso que les ofrecen los canales capilares, una vez en el interior, esos líquidos pueden actuar agresivamente sobre el hormigón, de una u otra de las formas siguientes:

- Poniendo en contacto sustancias químicas en solución en el agua, que puedan reaccionar con compuestos hidratados del cemento y den como resultado sustancias solubles que siguen el camino inverso, restando cohesión a la pasta cementicia (lixiviación de la cal por aguas ácidas, puras o carbónicas agresivas)
- Ídem anterior, pero formando compuestos expansivos que provoquen esfuerzos de tracción, los que al no ser soportados por el hormigón, traen como consecuencia su agrietamiento (reacción de sulfato sobre AC3; se obtiene sulfoaluminato de calcio, “Sal de Candlot” con gran aumento de volumen)
- Acción física de tracción, provocada por aumento de volumen del agua contenida en los canales capilares, cuando esta se congela, debido a bajas temperaturas.
- Reacción expansiva de los álcalis del cemento con ciertos agregados (ópalos, calcedonias), que pueden producirse en presencia de agua y dan lugar a agrietamiento del hormigón por tracción.

Clases de Exposiciones a las que se Encuentra Sometido el Hormigón

Según el reglamento CIRSOC 201 Los hormigones de las estructuras que estarán sometidos a las clases de exposiciones **A2, A3, CL, M1, M2, M3, C1, C2, Q1, Q2** y **Q3** (Tablas 2.1 y 2.2) deben tener **una velocidad de succión capilar** igual o menor que $4,0 \text{ g/m}^2 \text{ s}^{1/2}$, medida de acuerdo con el ensayo de la norma IRAM 1871:2004 con probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro.

Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig	Clase		Subclase	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos
A 1	No agresiva		Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios no sometidos a condensaciones. • Elementos exteriores de edificios, revestidos. • Hormigón masivo interior. • Estructuras en ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual <250mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios protegidos de la intemperie. • Columnas y vigas exteriores revestidas con materiales cerámicos o materiales que demoran la difusión del CO₂.
A 2	Ambiente normal	Temperatura moderada y fría, sin congelación. Humedad alta y media con ciclos de mojado y secado	Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios expuestos al aire con HR ≥ 65% o a condensaciones. • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual < 1.000 mm. • Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sótanos no ventilados. • Fundaciones. • Tableros y pilas de puentes. • Elementos de hormigón en cubiertas de edificios. • Exteriores de edificios. • Interiores de edificios con humedad del aire alta o media. • Pavimentos. • Losas p/estacionamientos.
A 3	Clima tropical y subtropical		Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥1.000 mm. • Temp. media mensual durante más de 6 meses al año ≥ 25 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Idem A 2
CL	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino		Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie de hormigón expuestas al rociado o fluctuación del nivel de agua con cloruros. • Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Piletas de natación sin revestir. • Fundaciones en contacto con aguas subterráneas. • Cisternas en plantas potabilizadoras. • Elementos de puentes.
M1	Marino	Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • A más de 1 km de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones alejadas de la costa pero en la zona de influencia de los vientos cargados de sales marinas (*).
M2		Al aire		<ul style="list-style-type: none"> • A menos de 1 km de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado de sales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones próximas a la costa.
M3		Sumergidos		<ul style="list-style-type: none"> • Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura de defensas costera. • Fundaciones y elementos sumergidos de puentes y edificios en el mar.
		Sumergidos		<ul style="list-style-type: none"> • En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de defensas costeras, fundaciones y elementos de puentes y edificios.

1	2	3	4	5	6
Desig	Clase		Subclase	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos donde se pueden dar las clases de exposición
C1	Congelación y deshielo	Sin sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo	<ul style="list-style-type: none"> Elementos en contacto frecuente con agua, o zonas con HR ambiente media en invierno superior al 75 %, y que tengan una probabilidad mayor del 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas debajo de los -5°C. 	<ul style="list-style-type: none"> Superficies expuestas a la lluvia o a atmósferas húmedas. Estructuras que contienen agua o la conducen.
C2		Con sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo y por sales descongelantes	<ul style="list-style-type: none"> Estructuras destinadas al tráfico de vehículos o peatones por zonas con más de 5 nevadas anuales o con temperatura mínima media en los meses de invierno inferior a 0 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> Pistas de aterrizaje, caminos y tableros de puentes. Superficies verticales expuestas a la acción directa del rociado con agua que contiene sales descongelantes.

1	2	3	4	5	6
Desig	Clase		Subclase	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos donde se pueden dar las clases de exposición
Q1	Ambientes con agresividad química	Moderado	Ataque químico	<ul style="list-style-type: none"> Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (TABLAS 2.3 y 2.4). 	
Q2		Fuerte		<ul style="list-style-type: none"> Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (TABLAS 2.3 y 2.4). Exposición al agua de mar. 	
Q3		Muy fuerte		<ul style="list-style-type: none"> Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (TABLAS 2.3 y 2.4). 	

Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones, en función del tipo de exposición de la estructura

Parámetro	Tipo de exposición de las estructuras									
	Corrosión por corrosión de armaduras					Degradación distinta a la corrosión de armaduras				
	A 1	A 2	A 3	M 1	M 2	C 1 (2)	C 2 (2)	Q 1	Q 2	Q 3 (3)
Razón a/c máxima (1):	---	---	---	0.45	0.45	0.45	0.40	0.50	0.45	0.40
Hormigón simple	0.60	0.50	0.50	0.45	0.40	0.45	0.40	0.50	0.45	0.40
Hormigón armado	0.60	0.50	0.50	0.45	0.40	0.45	0.40	0.50	0.45	0.40
Hormigón pretensado										
Mínima clase de resistencia (MPa):										
Hormigón simple	---	---	---	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	20	30	35	40	45	30	35	35	40	45
Penetración de agua o succión capilar según 2.2.11	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si

(1) Cuando se use cemento portland más una adición mineral activa, se debe reemplazar la razón agua/cemento (a/c), por la razón agua/material cementicio [a/(c+x)], que tenga en cuenta la suma del cemento portland (c) y la cantidad y eficiencia de la adición (x).

(2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la TABLA 5.3.

(3) Adicionalmente, se debe proteger a la estructura con una membrana, película o material impermeable, capaz de resistir la agresión.

(1) Influencia de la Relación Agua – Cemento

La relación agua – cemento (a/c) afecta no solamente la resistencia a la compresión del hormigón sino también su permeabilidad. Pequeños cambios en esa relación (a/c) pueden significar apreciables diferencias en la permeabilidad. La relación agua – cemento (a/c) se define como el peso del agua presente por unidad de peso de cemento. A menor relación a/c, mayor es la concentración de la pasta. A mayor relación a/c, mayor es la dilución de la pasta.

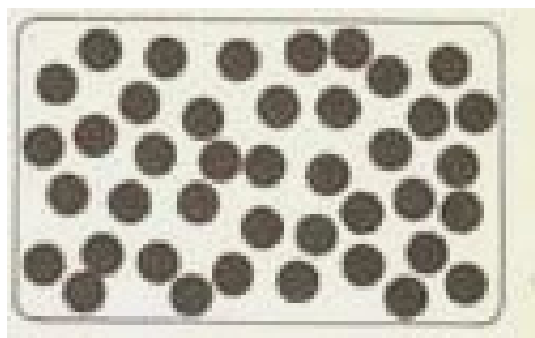
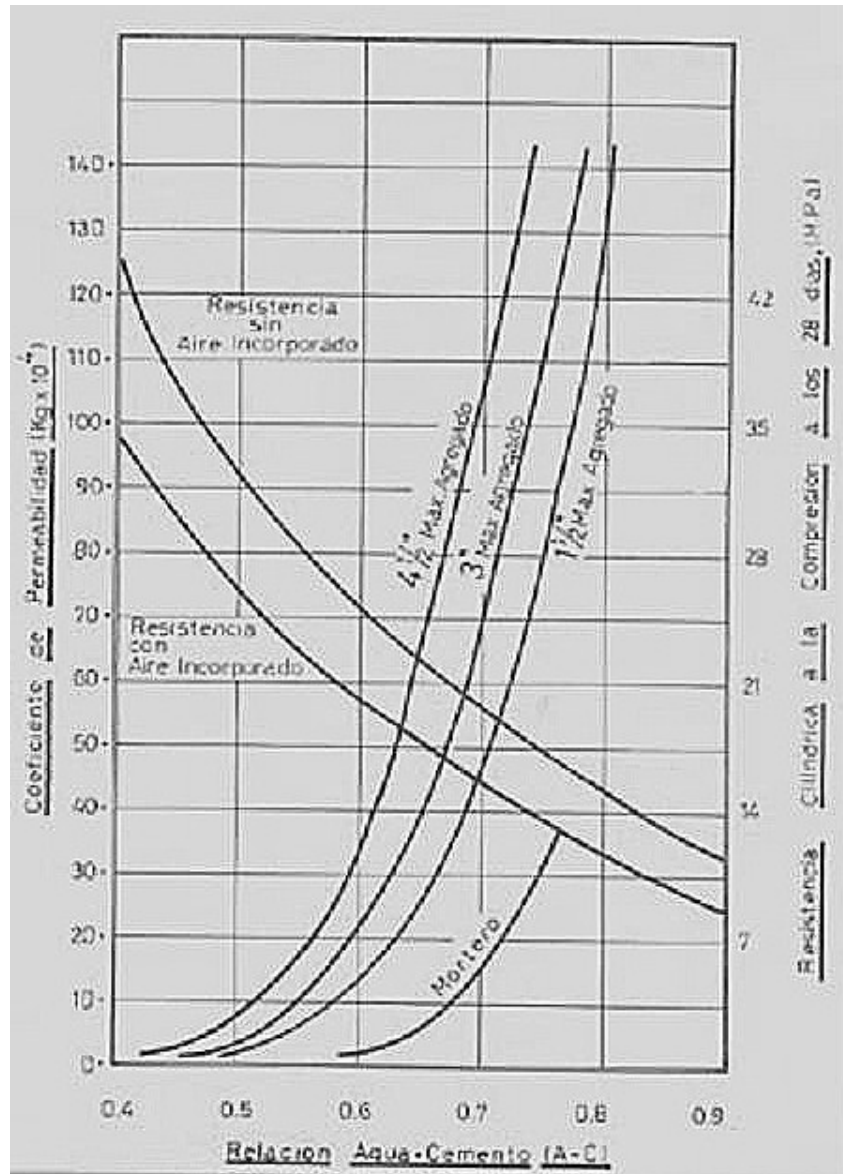


Figura 2

Con menores relaciones a/c, la concentración creciente de granos de cemento en la pasta deja menos espacio entre ellos para ser ocupados por el agua, al estar más unidos unos con otros. En resumen, hay mayor espacio entre los granos de cemento de la pasta a medida que aumenta la relación agua – cemento.

Inicialmente el espacio entre los granos de cemento forma una red continua, llena de agua, formada por los poros capilares. A medida que los granos de cemento se van hidratando, generan cristales que bloquean los poros y esto hace al hormigón menos penetrante. Los poros pequeños son bloqueados más fácilmente que los grandes y mientras más granos de cemento se tengan (menor relación a/c) el bloqueo será mayor con lo que se consigue una menor permeabilidad y un hormigón más durable



Influencia del Curado

Con el fin de obtener un eficiente bloqueo de los poros capilares, los granos de cemento deben hidratarse. Para esto es indispensable proceder al curado del hormigón, que permite controlar su humedad y temperatura, después de su

colocación y operaciones de terminación. El tiempo de curado para obtener una pasta de cemento impermeable es función de la relación agua – cemento. Cuanto menor es la relación a/c, menor es el tiempo requerido de hidratación para cerrar los vacíos existentes entre los granos de cemento lo suficiente para cerrar los vacíos existentes entre ellos (tabla)

Relación agua – cemento inicial	Duración del curado húmedo
0,40	3 días
0,45	7 días
0,50	14 días
0,60	6 días
0,70	12 días
> 0,70	imposible

Probetas y Testigos de Ensayo (5)

- Las muestras de ensayo están constituidas por probetas que cumplan con lo establecido en la IRAM 1524 e IRAM 1534, según corresponda, y/o testigos calados de hormigón endurecido que cumplan con lo establecido en la IRAM 1551.
- Una serie de ensayo está formada por tres probetas o testigos, como mínimo.
- Se utilizarán probetas o testigos cilíndricos de 50 mm ± 2 mm de altura y 100 mm de diámetro nominal cuando la totalidad del agregado grueso empleado pase por el tamiz IRAM 26,5 mm, o de 150 mm de diámetro nominal cuando la totalidad del agregado grueso empleado pase por el tamiz IRAM 37,5 mm, obtenidos mediante el aserrado de las probetas y de los testigos extraídos.
- Los valores obtenidos con probetas o testigos de distinto diámetro no son comparables.
- La determinación de la altura de probetas y testigos se debe realizar según la IRAM 1574.
- Se denomina base de absorción de la probeta o del testigo, aquella sobre la que se desea realizar el ensayo.

Probetas

Se procede a realizar un primer aserrado a 30 mm del extremo correspondiente a la base de contacto de la probeta con el molde, se descarta el corte realizado y se reitera el aserrado de la probeta a una distancia de 50 mm ± 2 mm. Esta porción conforma la probeta de ensayo (ver figura).

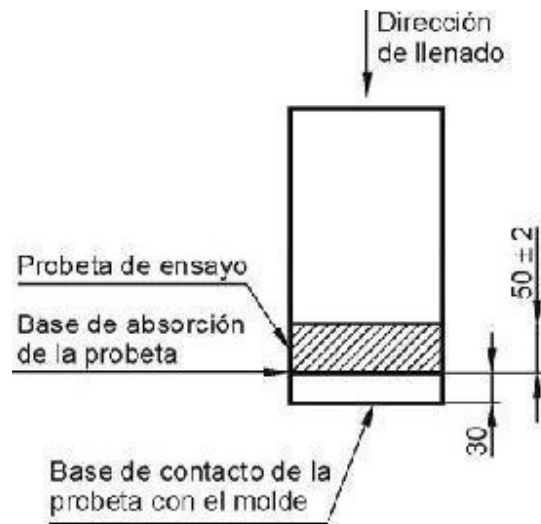


Figura - Probeta de ensayo

El aserrado se debe realizar luego de los 28 d del curado húmedo, debiendo iniciarse el ensayo antes de los 42 d después del moldeo.

Testigos

Los testigos extraídos de estructuras en servicio deben ser normales a la superficie expuesta y ensayarse colocando dicha superficie en contacto con el agua (ver figura).

Luego de realizar la extracción de los testigos, se procede a realizar el aserrado a 50 mm ± 2 mm de la superficie expuesta.

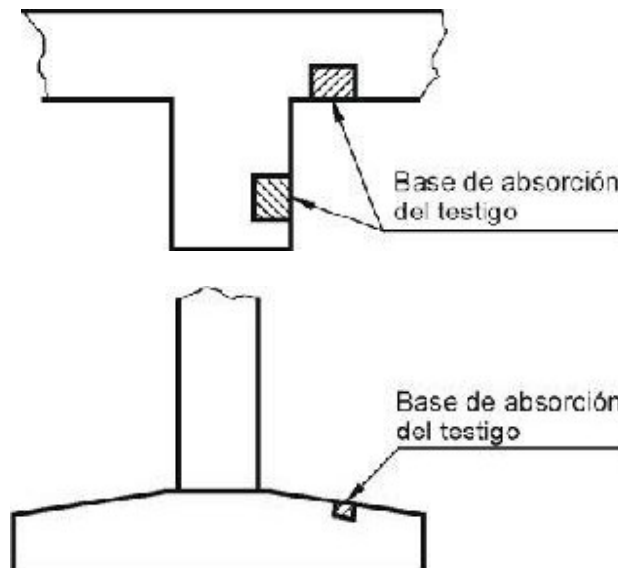


Figura 2 - Testigos de ensayo

Metodología del 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 al contacto con aguas por una de sus caras (4)



Figura, esquema de ensayo

Procedimiento Para Realizar el Ensayo

(El procedimiento se encuentra detallado claramente en la norma IRAM 1871)

Conclusiones

- En los diferentes hormigones, la velocidad y capacidad de succión capilar se incrementan con el aumento de la relación agua cemento.
- En Hormigones de igual relación agua cemento el aumento del tamaño máximo del agregado grueso ocasiona un incremento en la porosidad y por lo tanto en la absorción de agua. Facilitando el ingreso de agentes externos.
- Si bien los requisitos de resistencia son importantes a la hora de diseñar una estructura, se debe tener en cuenta los requisitos de durabilidad, y el tipo de ambiente al que estará sometido, ya que sería anti-económico realizar las reparaciones en las estructuras antes de que cumpla su ciclo de vida útil.

Próximo Objetivo

Se pretende implementar en el laboratorio (LEMaC) el ensayo de absorción por succión capilar,

Bibliografía

- (1) www.icpa.org.ar/files/per,bol%20137.doc
- (2) Reglamento Cirsoc 201
- (3) Fernández Luco, Luis – “Capítulo 1. La durabilidad del hormigón: su relación con la estructura de poros y los Mecanismos de transporte de fluidos” – Durabilidad del hormigón estructural – Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón – ISBN 987-99797-2-9 – Autoeditor, La Plata, 2001 – pp 1 – 45
- (4).Revista ciencia y Tecnología del hormigón N° 10
- (5) IRAM 1871 - Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido
- (6) ” Durabilidad del hormigón estructural” Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón
- (7) Curso de Tecnología del Hormigón A. N. Castiarena

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.