

“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y LA VELOCIDAD DE SUCCIÓN CAPILAR DE AGUA DEL HORMIGÓN ENDURECIDO”

Becario: Marcos Johel Naber ⁽¹⁾

Director: Prof. Jorge D. Sota ⁽²⁾

Proyecto de I+D+i de pertenencia: “Control de la Fisuración en Pavimentos de Hormigón: Juntas de Contracción”

Código UTN: UTI 1103

Código de Incentivos 25/I043

1. Resumen

El método de ensayo de la norma IRAM 1871 establece los procedimientos para la determinación de la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido. La capacidad y la velocidad de succión del hormigón, y particularmente del hormigón de recubrimiento, son parámetros asociados con la durabilidad de las estructuras de hormigón.

En este trabajo se determina la capacidad y velocidad de succión capilar, según la norma IRAM 1871, para un hormigón destinado a pavimento.

2. Abstract

The test method according to IRAM 1871 establishes procedures for determining the capacity and speed of water wicking of hardened concrete. The capacity and speed of suction of the concrete, and particularly of concrete coating, are parameters associated with the durability of concrete structures.

3. Fundamentos

La succión capilar se produce como consecuencia de la acción de fuerzas de adhesión de las moléculas de agua a las paredes de los poros en el hormigón y otros materiales porosos.

Este mecanismo de transporte puede favorecer el ingreso de agentes agresivos, todos los ambientes se encuentran considerados por el proyecto de reglamento CIRSOC 201-2005, pero este no es el principal motivo por el que el ensayo de succión capilar se utiliza para diseñar hormigones durables, sino que es un descriptor indirecto de otras propiedades de transporte del hormigón más relacionado con cada agresividad ambiental en particular, velocidad de ingreso de cloruro en ambientes marinos, carbonatación en ambientes industriales, ingreso de sulfato en ambientes con sulfato, ingreso de agua en ambientes con ciclos de congelamiento y deshielo.

Una baja velocidad de succión indica, en general, un hormigón con propiedades de transporte satisfactorias para asegurar una vida útil aceptable de la estructura.

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 (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, caso contrario aumenta la dilución de la pasta.

(1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto. de Ing. Civil

(2) Director de Beca y/o Director a Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada

Con menor relación (a/c), la concentración creciente de los 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 (a/c).

Inicialmente el espacio entre los granos de cemento forma una red continua, llena de agua formado 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.

Otro aspecto a tener en cuenta es la influencia del curado del hormigón, ya que para obtener un eficiente bloqueo de los poros capilares los granos de cemento deben estar bien hidratados, controlando la humedad y temperatura del curado.

Método de ensayo de succión capilar según IRAM 1871

El método de ensayo según la norma IRAM 1871 permite calcular la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido.

Se utilizan probetas de 50 ± 2 mm de espesor, que se obtienen a través del aserrado, realizado a 30 mm del extremo correspondiente a la base, de probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro x 200 mm de altura (Figura 1).

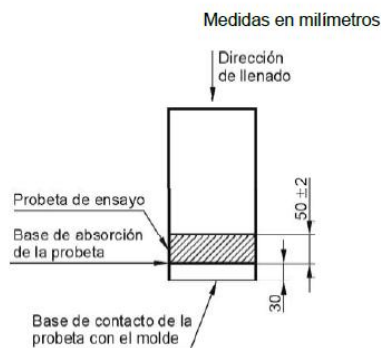


Figura 1

Luego se procede a sellar con pintura impermeabilizante toda la superficie lateral de las probetas para evitar la absorción en ese sector no contemplado en los cálculos (Figura 2).



Figura 2

- (1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto. de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Director a Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada

Previo al ensayo, las probetas se sumergen en agua durante 72 h.

Las probetas se someten a secado en estufa a una temperatura de $50 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas efectuadas cada $24 \pm 1 \text{ h}$ sea menor que 0.1% de la última medición.

Una vez secadas las probetas, se registra la masa seca y se recubren con doble pliego de una película de polietileno durante 24 h, en ambiente de laboratorio.

(1) Luego, las probetas se introducen en un recipiente, con una altura de agua respecto de la base de absorción de $3 \pm 1 \text{ mm}$. Este instante se registra como el tiempo inicial del ensayo.

En los tiempos de $t=30 \text{ min}$, $t=1 \text{ h}$, $t=2 \text{ h}$, $t=3 \text{ h}$, $t=4 \text{ h}$, $t=5 \text{ h}$, $t=6 \text{ h}$, $t=24 \text{ h}$, $t=48 \text{ h}$, y a continuación cada $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$ hasta que la variación de masa de la probeta sea menor que 0,1 % entre dos determinaciones sucesivas, se retira cuidadosamente cada probeta y se determina la masa húmeda.



Figura 3

Para cada probeta (i) en el instante de lectura (t) se determina el incremento de masa por unidad de área (C_{it}), mediante la fórmula siguiente:

$$C_{it} = \frac{M_{hit} - M_{si}}{A_i}$$

Siendo:

C_{it} el incremento de masa por unidad de área de la sección transversal de la probeta o del testigo (i) en el instante de lectura (t), en gramos por metro cuadrado;

M_{hit} la masa húmeda de la probeta (i) en el instante de lectura (t), en gramos;

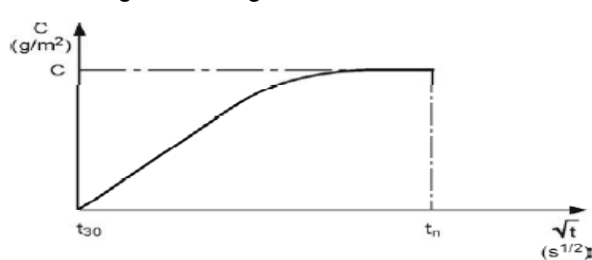
M_{si} la masa seca de la probeta (i), en gramos;

A_i el área de la sección transversal de la probeta (i), en metros cuadrados.

La capacidad de succión capilar de cada probeta (C_i), en gramos por metro cuadrado, es el valor del incremento de masa por unidad de área de la sección transversal de la probeta o del testigo (i), en el instante de lectura (t), (C_{it}), que corresponde al tiempo (t) cuando la variación de masa es menor que 0,1 % entre dos determinaciones sucesivas de la masa húmeda (M_{hi}).

La capacidad de succión capilar del hormigón (C), en gramos por metro cuadrado, se calcula como el promedio de la capacidad de succión capilar de cada probeta de la serie de ensayo (C_i).

En un único gráfico se grafica el incremento de masa por unidad de área de la serie de ensayo



(C_{it}), en gramos por metro cuadrado, en función de la raíz cuadrada del tiempo de lectura (t), en segundos a la un medio.

(1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto. de Ing. Civil

(2) Director de Beca y/o Director a Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada

Figura 4

La velocidad de succión capilar del hormigón (S) correspondiente a la serie de ensayo, en gramos por metro cuadrado por segundo a la un medio, es la pendiente de la recta obtenida mediante ajuste por cuadrados mínimos de la serie de puntos, obtenida La velocidad de succión capilar del hormigón correspondiente a la serie de ensayo, en gramos por metro cuadrado por segundo a la un medio, es la pendiente de la recta obtenida mediante ajuste por cuadrados mínimos de la serie de puntos.

4. Desarrollo experimental

El ensayo fue realizado siguiendo el procedimiento descrito en la norma IRAM 1871. Se realizaron dos hormigones, (con distintos tipos de agregados) un hormigón con agregado natural (tabla 1) y uno con un remplazó de un 30% de agregado fino reciclado (tabla 2). confeccionando tres probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro x 200 mm de altura, que posteriormente fueron curadas en cámara húmeda durante 28 días. Luego de cumplida la edad de ensayo, se realizó el aserrado de las muestras, se cubrió la superficie lateral de las probetas con pintura de base acuosa color celeste y, una vez secada la pintura, se sumergieron las probetas en agua durante 72 h.



Figura 5

dosificación del hormigon relacion a/c 0,45	
Materiales	Pesos Kg/m ³
Agua	160
Cemento CPC 40	360
Piedra 10:30	425
Piedra 6:20	638
Arena de trituracion	611
Arena silicea	204
aditivo plastificante	0,8

Tabla 1

dosificación del hormigon reciclado relacion a/c 0,45	
Materiales	Peso Kg/m ³
Cemento	360
Agua	160
Piedra 6:20	638
Reciclado fino	183
Arena 0:6	428
Plastificante	0,8
piedra 10:30	425
Arena fina	204

Tabla 2

Cumplido el período de inmersión, las probetas se colocaron en estufa a una temperatura de 50 °C hasta peso constante, registrándose los resultados siguientes:

T.S. 72 Hs.					probeta 1	probeta 2	probeta 3
Peso inicial					886,3gr.	941,1 gr.	930,7 gr.
peso	fecha	temp.	hora		gramos	gramos	gramos
1	04-mar	50	14:00		882,4	937,4	927,1
2	05-mar	48	15:50		874,7	930,1	918,9
3	06-mar	50	15:00		870,9	926,6	915,5
4	07-mar	48	16:00		868,4	924,3	913
5	11-mar	52	10:00		861,4	918,3	907
6	14-mar	50	15:00		857,7	915,3	903,5
7	15-mar	52	14:00		857,3	914,3	902,7
8	18-mar	52	11:00		854,9	912,2	900,6
9	19-mar	52	16:50		854,1	911,7	900
10	20-mar	56	15:00		853,8	911,4	899,7
11	21-mar	54	15:00		853,5	911,3	899,4
%	21-mar	---	---		0,03	0,01	0,03

T.S. 72 Hs.					Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
peso	fecha	temp.	hora		895,1	864,6	855,5	841,9
peso inicial								
1	17-abr	50	14:00		884,2	854,3	846,1	832,4
2	18-abr	48	15:00		880,2	849,7	841,9	828,4
3	19-abr	52	14:30		872,2	840,8	833,8	820,6
4	22-abr	51	14:00		870,9	839,5	832,8	819,4
5	24-abr	53	14:30		869,9	838,2	831,4	818,1
%					0,1	0,1	0,1	0,1

- (1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto. de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Director a Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada

Tabla 3 (hormigón convencional) Tabla 4(hormigón reciclado)
 Antes de cada pesada se envolvieron en doble bolsa de polietileno cerrada hasta alcanzar una temperatura de 20 +/- 2 °C.
 Realizamos los incrementos de masa húmeda (1), obteniendo los siguientes valores:

- Hormigón convencional:

DATOS	DE			ABSORCION			Probeta 1			probeta 2			probeta 3		
	fecha	temp.	hora	gramos	gramos	gramos	segundos	seg.^1/2	promedio	gramos	gramos	gramos	segundos	seg.^1/2	promedio
0	21-mar	20 +/- 2	14:30	853,5	911,3	899,4	0	0	888,066667						
1	21-mar	20 +/- 2	16:00	862,6	919,1	906,1	5400	73,4846923	895,933333						
2	21-mar	20 +/- 2	17:00	864,9	921,1	908,7	9000	94,8683298	898,233333						
3	22-mar	20 +/- 2	10:00	877	930,8	918,1	70200	264,952826	908,633333						
4	04-abr	20 +/- 2	15:00	886,9	941	931	174600	417,851648	919,633333						
5	05-abr	20 +/- 2	11:15	887	940,8	931	318600	564,446632	919,6						
6	08-abr	20 +/- 2	19:00	887	940,8	931	433800	658,634952	919,6						

Tabla 5

Obteniendo las siguientes curvas:

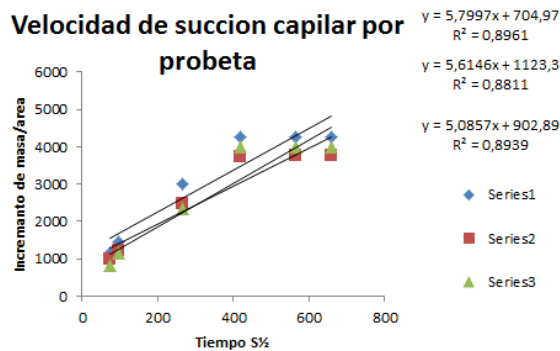


Gráfico 1

Tiempo	C1	C2	C3	C promedio
73,5	1158,6	980,4	814,9	980,4
94,9	1451,5	1235	1145,9	1273,2
265	2992,1	2470	2342,8	2597,4
417,8	4252,6	3743,2	3985,3	3998
564,4	4265,3	3768,8	3985,3	3998
658,6	4265,3	3768,8	3985,3	3998

Tabla 6

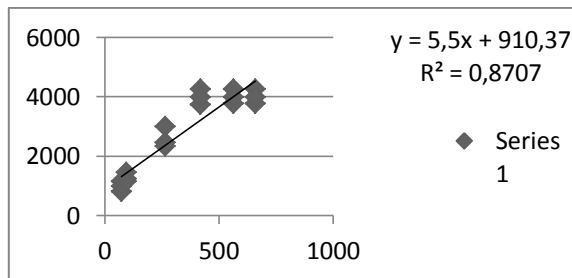


Gráfico 2

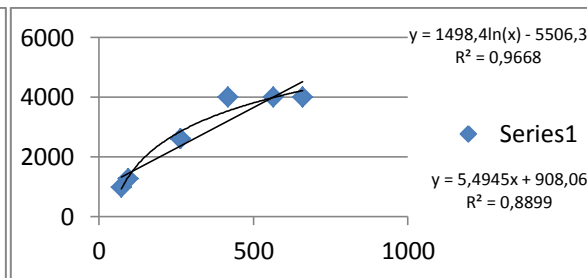


Gráfico 3

La velocidad de succión capilar del hormigón obtenida fue de 5,5 g/ (m².s^{1/2})

- (1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto. de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Director a Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada

- Hormigón con agregado reciclado:

Tiempo S½	Absorción			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
0	869,9	838,2	831,4	818,1
42,4	873,4	842,6	835,6	821,6
60	874,2	843,4	836,4	822,2
94,86	875,9	845,6	838,5	824
112,25	876,6	846,2	839	824,6
127,3	877,2	847,2	839,6	825,4
281,4	881,6	852	843,8	829,8
300	882	852,6	844,2	830
406,9	884,4	855	846,2	832,2
720	888,0	859,4	850	835,8
777,7	889,2	860,4	851	836,4

Tabla 6

Obteniendo las siguientes curvas:

velocidad succion capilar por probeta

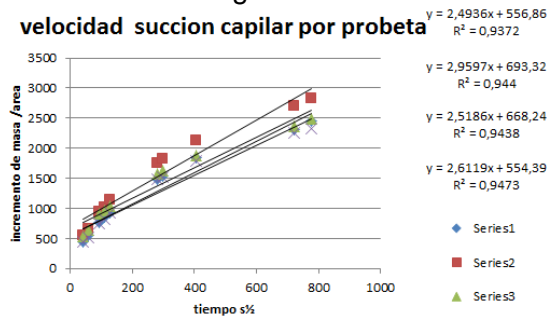


Gráfico 4

Tiempo	C1	C2	C3	C4	C promedio
42,4	445,6	560,2	534,8	445,6	496,6
60	547,5	662,1	636,6	522	587,7
94,86	763,9	942,2	904	751,2	840,3
112,25	853,1	1018,6	967,6	827,6	916,7
127,3	929,4	1145,9	1044,1	929,5	1018,6
281,4	1489,7	1757	1578,8	1486,7	1578,8
300	1540,6	1833	1629,7	1515,2	1629,7
406,9	1846,2	2139	1884,4	1795,2	1922,6
720	2304,6	2699,3	2368,2	2253,8	2407,6
777,7	2457,3	2826,6	2495,5	2330	2527,4

Tabla 7

velocidad de succion

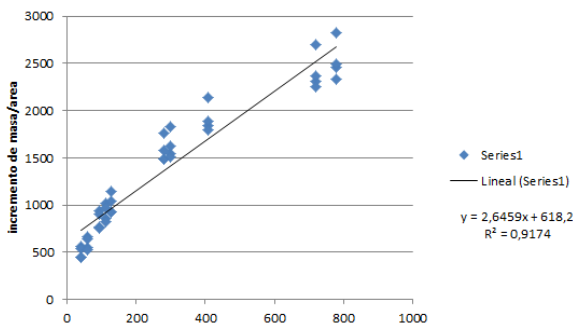


Gráfico 5

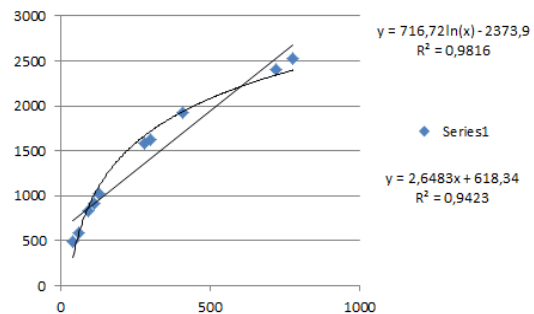


Gráfico 6

La velocidad de succión capilar del hormigón obtenida fue de $2.6 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$

5. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos en este ensayo del hormigón convencional no son razonables, debido a que considerando otras investigaciones, los valores de la velocidad de succión capilar correspondientes a hormigones de las mismas características (relación a/c inferior a 0,45) oscilan entre 2 y 3 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$. De la ecuación obtenida del gráfico realizado, se

- (1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto. de Ing. Civil
- (2) Director de Beca y/o Director a Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada

deduce que el valor de la velocidad de succión del hormigón en estudio se ubica por encima de estos valores, y más aún, por encima del valor máximo fijado por el Reglamento CIRSOC 201, que es de $4 \text{ g/ (m}^2\cdot\text{s}^{1/2})$. Por este motivo, se decidió repetir el ensayo correspondiente a la misma dosificación de hormigón, a fin de verificar si se han producido errores o apartamientos en la aplicación de los procedimientos establecidos en la norma.

6. Conclusión

El método de ensayo IRAM 1871 requiere un instrumental sencillo y su ejecución es simple pero los resultados son muy sensibles al contenido de humedad de la probeta en el momento de iniciarlo y al cuidado con que se realicen las mediciones de succión.

7. Bibliografía

- IRAM 1871, Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido. IRAM, Buenos Aires, (2004).
- CIRSOC 201-2005, Proyecto de reglamento argentino de estructuras de hormigón, INTI, Buenos Aires, (2005)
- AATH Memorias del V Congreso internacional – editores Prof. Sota Jorge D., Ing. Ortega Néstor F., Ing. Moro Juan M. – Reprograficas JMA. S.A. CABA, Buenos Aires 2012.
“Relación entre la velocidad de succión capilar y la velocidad de secado de probetas de hormigón”. Y.A. Villagrán Zaccardi, V.L Taus, A.A Di Maio, A. Pittori.

(1) Becario de investigación del Centro de Investigaciones Viales LEMaC. Dpto. de Ing. Civil

(2) Director de Beca y/o Director a Cargo en el proyecto o en el Depto. o cátedra asociada