



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Plata*

“Absorción por Succión Capilar del Hormigón Endurecido”

Cristian Sakurai⁽¹⁾

Ing. Marcelo Barreda⁽²⁾; Prof. Jorge Sota⁽²⁾

**LEMaC
Centro de Investigaciones Viales**

Área: Estructuras y Materiales de Construcción

(1) Becario-Tesista

(2) Director de Becario-Tesista



1. Resumen

La durabilidad de los hormigones está íntimamente relacionada con su estructura porosa (en cuanto a su tamaño, forma y conectividad) y con la naturaleza química y proporción de sus materiales componentes; externamente está relacionada con la naturaleza y dosis de las sustancias disueltas, los medios de transporte y las características del medio ambiente. La durabilidad del hormigón se relaciona de manera directa con la facilidad con la cual los agentes agresivos ingresan y se mueven en su interior. Dependiendo de la magnitud de las fuerzas impulsoras de este proceso se pueden distinguir tres mecanismos de transporte: permeabilidad, difusión y absorción. Nosotros evaluaremos la durabilidad mediante el ensayo de succión capilar. Este ensayo proporciona la velocidad y la capacidad de succión por medio de la ganancia de masa de probetas semi-sumergidas en agua. Este trabajo tiene por objetivo evaluar la capacidad y velocidad de succión capilar (Norma IRAM 1781) en probetas de hormigón con distintas relaciones agua/cemento y realizar una comparación entre las mismas.

2. Introducción

En la actualidad los parámetros de durabilidad han adquirido tanta importancia como los de resistencia, para entrar en el tema definimos a la durabilidad como 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 acidas, 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.



3. 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 1).

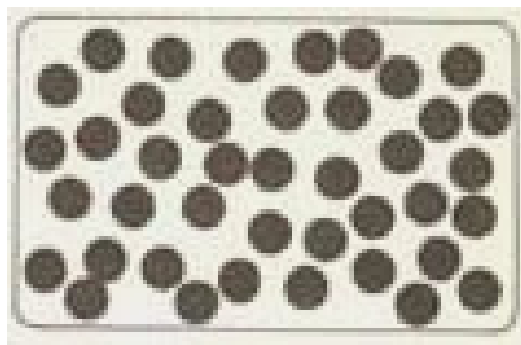


Figura N° 1: Distribución de granos de cemento

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, mayor resistencia y un hormigón más durable, en la figura 2 se muestra una relación entre estos parámetros.

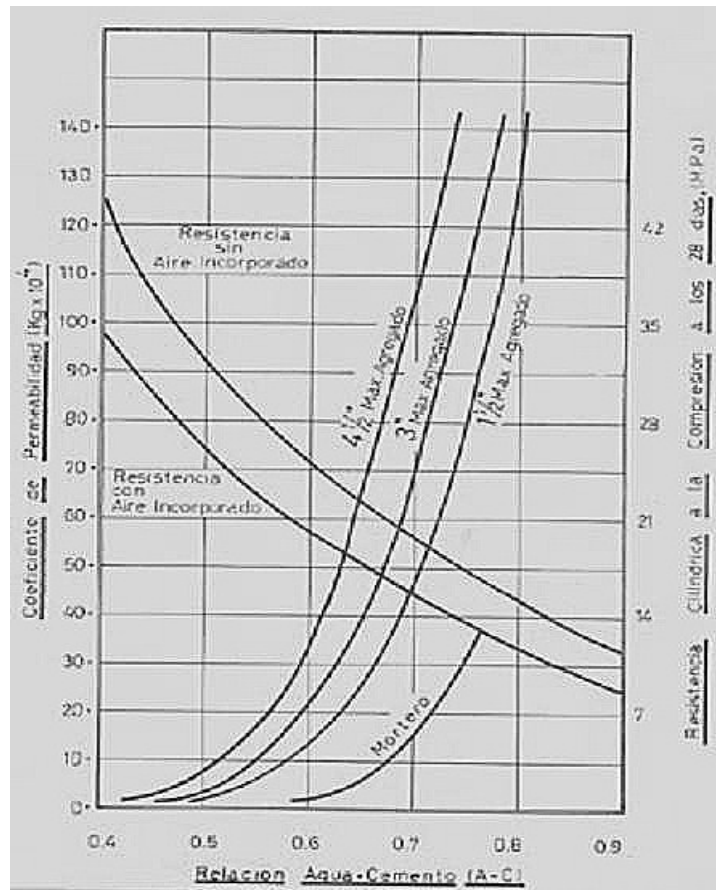


Figura N° 2: Relación a/c-coef. de permeabilidad-resistencia a compresión

3. Experiencia

3.1. Materiales y dosificación

Se evaluaron una serie de seis probetas de hormigón de relaciones agua/cemento, $a/c=0,40$; $a/c=0,50$; $a/c=0,60$, cuyas identificaciones será probetas A-B-C corresponden a $Ra/c=a,40$, probetas D-E-F $Ra/c=0,50$ y probetas G-H-I $Ra/c=0,60$, las cuales tuvieron un curado de 28 días en cámara húmeda (95% de humedad 20°C de temperatura), de estas series de 6 probetas a 3 se le realizó el ensayo de compresión simple, y a las 3 restantes se les realizó el ensayo de absorción por succión capilar basado en la Norma IRAM 1871, los materiales utilizados son: arena silíceo argentina, arena silíceo oriental, piedra granítica partida de tamaño máximo 25 mm. En las siguientes tablas se detallan los datos correspondientes a las proporciones de materiales correspondientes de las distintas mezclas y las propiedades de los hormigones en estado fresco.



| | | | | | |
|---|-------------------------|----------|---------------------------|----------------|----------|
| Tamaño máximo de agregado 25mm | | | | | |
| PUV agregado grueso 1500 kg/m | | | | | |
| Relación a/c=0,40 | | | | | |
| Asentamiento=3 a 5 | | | Asentamiento medido= 11cm | | |
| Aditivo- Reducción estimada 12% cantidad=1% peso del cemento | | | | | |
| Material | vol. (dm ³) | densidad | Peso (Kg) | peso para 50 l | |
| Agua | 158 | 1 | 158 | 7,9 | |
| Cemento | 132 | 3 | 395 | 19,8 | |
| Agregado G. | 396 | 2,65 | 1050 | 52,5 | |
| Agregado F | 296 | 2,65 | 784 | 39,2 | AO=27,4 |
| | | | | | AA=11,8 |
| Aditivo | 3 | 1,2 | 3,95 | 0,198 | |
| Aire | 15 | - | - | - | |
| Relación a/c=0,50 | | | | | |
| Asentamiento= 3 a 5 cm | | | Asentamiento medido= 4cm | | |
| Aditivo- Reducción estimada 10%. Cantidad=0,8% peso del cemento | | | | | |
| Material | vol. (dm ³) | densidad | Peso (Kg) | peso para 15 l | |
| Agua | 162 | 1 | 162 | 2,43 | |
| Cemento | 108 | 3 | 324 | 4,9 | |
| Agregado G. | 396 | 2,65 | 1050 | 15,75 | |
| Agregado F | 316,83 | 2,65 | 839,6 | 12,6 | AO=8,8 |
| | | | | | AA= 3,8 |
| Aditivo | 2,17 | 1,2 | 2,6 | 0,039 | |
| Aire | 15 | - | - | - | |
| Relación a/c=0,60 | | | | | |
| Asentamiento= 8 a 10 cm | | | Asentamiento medido= 8 cm | | |
| Aditivo- Reducción estimada 10%. Cantidad=0,8% peso del cemento | | | | | |
| Material | vol.(dm ³) | densidad | Peso(Kg) | peso para 15 l | |
| Agua | 175,5 | 1 | 175,5 | 2,6 | |
| Cemento | 97,5 | 3 | 292,5 | 4,4 | |
| Agregado G. | 396 | 2,65 | 1050 | 15,75 | |
| Agregado F | 314 | 2,65 | 832 | 12,5 | AO=8,75 |
| | | | | | AA= 3,75 |
| Aditivo | 2 | 1,2 | 2,34 | 0,035 | |
| Aire | 15 | - | - | - | |

Tabla N° 1: Dosificaciones de los hormigones

3.2. Ensayo de compresión

Los resultados obtenidos para el ensayo de compresión simple son:

| Resultados del Ensayo a Compresión (Edad 28 días [Mpa]) | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Probeta con relación a/c = 0,40 | Probeta con relación a/c = 0,50 | Probeta con relación a/c = 0,60 |
| 1 | 40 | 26 | 24 |
| 2 | 36 | 28 | 24 |
| 3 | 36 | 32 | 24 |
| Resistencia promedio | 37 | 29 | 24 |

Tabla N° 2: Resultados ensayo a compresión



Como se puede observar es muy clara la diferencia en la resistencia mecánica a compresión entre las distintas relaciones agua/cemento, la diferencia se da por distintos fenómenos entre ellos los que nos importan son la porosidad y conectividad entre poros.

3.3. Ensayo de Absorción por succión

Este ensayo se realizó siguiendo la norma IRAM 1871, teniendo en cuenta trabajos realizados previamente y trabajos realizados por terceros.

A continuación se muestra una fotografía de las probetas durante el ensayo, se muestra la tabla 1 donde se registran los sucesivos incrementos de peso de las probetas evaluadas. En la tabla 2 se muestran los porcentajes de absorción en la sección transversal 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 o del testigo (i) en el instante de lectura (t), determinada según 6.10 ó 6.12, en gramos;

M_{si} = la masa seca de la probeta o del testigo, (i), determinada según 6.6, en gramos;

A_i = el área de la sección transversal de la probeta o del testigo (i).

3.3.1. Esquema del ensayo (fotografía 1)



Fotografía N° 1: Esquema del ensayo



| TABLA DE LAS SUCESIVAS MEDICIONES DE PESO (gramos) | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tiempo seg ^{1/2} | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 0,00 | 1081,10 | 992,50 | 977,60 | 1021,30 | 1081,70 | 1045,30 | 1071,50 | 1063,60 | 1015,40 |
| 42,43 | 1082,20 | 993,50 | 979,30 | 1022,80 | 1083,40 | 1046,90 | 1073,00 | 1065,40 | 1017,40 |
| 60,00 | 1082,70 | 994,10 | 979,40 | 1023,90 | 1084,10 | 1047,60 | 1073,90 | 1066,80 | 1018,40 |
| 84,85 | 1083,40 | 994,80 | 980,40 | 1024,70 | 1085,10 | 1049,00 | 1075,20 | 1067,60 | 1019,80 |
| 103,92 | 1083,90 | 995,40 | 980,60 | 1025,00 | 1085,70 | 1049,40 | 1075,90 | 1068,60 | 1020,90 |
| 120,00 | 1084,30 | 995,40 | 980,80 | 1025,40 | 1086,00 | 1049,60 | 1076,40 | 1069,00 | 1021,20 |
| 134,16 | 1084,30 | 995,80 | 981,10 | 1025,80 | 1086,30 | 1050,10 | 1077,40 | 1070,00 | 1022,00 |
| 146,97 | 1084,70 | 996,20 | 981,60 | 1026,30 | 1086,90 | 1050,50 | 1077,60 | 1070,30 | 1022,50 |
| 293,94 | 1086,60 | 998,10 | 983,50 | 1029,50 | 1089,80 | 1053,80 | 1082,20 | 1074,90 | 1027,80 |
| 415,69 | 1087,30 | 998,90 | 984,30 | 1030,90 | 1091,40 | 1055,20 | 1084,50 | 1077,30 | 1030,40 |
| 509,12 | 1087,50 | 998,80 | 984,50 | 1031,70 | 1091,90 | 1055,90 | 1085,60 | 1078,70 | 1031,70 |
| 587,88 | 1087,70 | 998,60 | 984,60 | 1032,00 | 1092,30 | 1056,50 | 1086,70 | 1079,50 | 1032,30 |
| 657,27 | 1088,90 | 1000,00 | 985,80 | 1033,70 | 1094,10 | 1058,10 | 1088,60 | 1081,50 | 1035,60 |
| 720,00 | 1089,50 | 1000,80 | 986,60 | 1034,70 | 1095,30 | 1059,20 | 1089,90 | 1082,90 | 1034,20 |
| 777,69 | 1089,90 | 1001,10 | 986,80 | 1035,70 | 1095,70 | 1059,70 | 1090,70 | 1083,50 | 1036,00 |
| 831,38 | 1090,10 | 1001,20 | 986,90 | 1036,10 | 1096,10 | 1060,20 | 1091,10 | 1083,90 | 1036,20 |

Tabla N° 3: Incrementos de pesos de las probetas durante el ensayo

| CAPACIDAD DE SUCCION (g/m ²) | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 140,13 | 127,39 | 216,56 | 191,08 | 216,56 | 203,82 | 191,08 | 229,3 | 254,78 |
| 203,82 | 203,82 | 229,3 | 331,21 | 305,73 | 292,99 | 305,73 | 407,64 | 382,17 |
| 292,99 | 292,99 | 356,69 | 433,12 | 433,12 | 471,34 | 471,34 | 509,55 | 560,51 |
| 356,69 | 369,43 | 382,17 | 471,34 | 509,55 | 522,29 | 560,51 | 636,94 | 700,64 |
| 407,64 | 369,43 | 407,64 | 522,29 | 547,77 | 547,77 | 624,2 | 687,9 | 738,85 |
| 407,64 | 420,38 | 445,86 | 573,25 | 585,99 | 611,46 | 751,59 | 815,29 | 840,76 |
| 458,6 | 471,34 | 509,55 | 636,94 | 662,42 | 662,42 | 777,07 | 853,5 | 904,46 |
| 700,64 | 713,38 | 751,59 | 1044,59 | 1031,85 | 1082,8 | 1363,06 | 1439,49 | 1579,62 |
| 789,81 | 815,29 | 853,5 | 1222,93 | 1235,67 | 1261,15 | 1656,05 | 1745,22 | 1910,83 |
| 815,29 | 802,55 | 878,98 | 1324,84 | 1299,36 | 1350,32 | 1796,18 | 1923,57 | 2076,43 |
| 840,76 | 777,07 | 891,72 | 1363,06 | 1350,32 | 1426,75 | 1936,31 | 2025,48 | 2152,87 |
| 993,63 | 955,41 | 1044,59 | 1579,62 | 1579,62 | 1630,57 | 2178,34 | 2280,25 | 2573,25 |
| 1070,06 | 1057,32 | 1146,5 | 1707,01 | 1732,48 | 1770,7 | 2343,95 | 2458,6 | 2394,9 |
| 1121,02 | 1095,54 | 1171,97 | 1834,39 | 1783,44 | 1834,39 | 2445,86 | 2535,03 | 2624,2 |
| 1146,5 | 1108,28 | 1184,71 | 1885,35 | 1834,39 | 1898,09 | 2496,82 | 2585,99 | 2649,68 |

Tabla N° 4: Capacidad de succión (incremento de masa por unidad de área de la sección transversal de la probeta)



3.3.2. Grafico de capacidad de succión

A continuación se presenta el grafico correspondiente a la capacidad de succión capilar de cada una de las probetas, las correlaciones se aproximaron por líneas de tendencia utilizando ecuaciones logarítmicas.

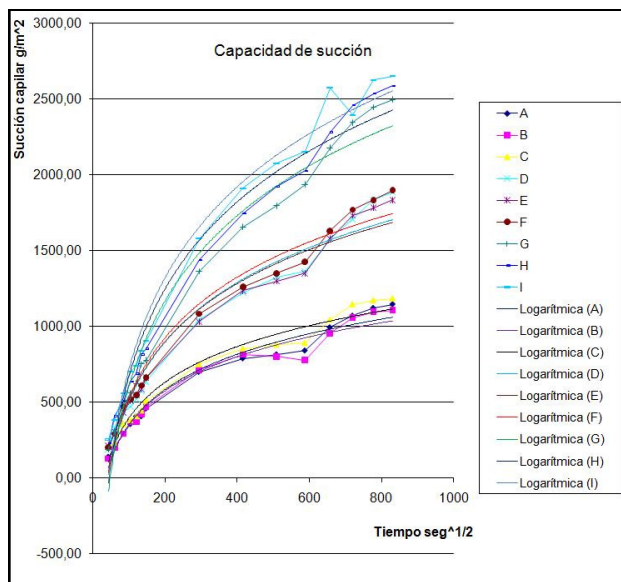


Gráfico N° 1: Capacidad de succión de las series de probetas

3.3.3. Capacidad Promedio de Absorción

Las correlaciones se aproximaron por líneas de tendencia utilizando ecuaciones polinómicas de segundo orden.

| CAPACIDAD PROMEDIO DE ABSORCION (g/m2) | | |
|--|-----------|-----------|
| PROM 0,40 | PROM 0,50 | PROM 0,60 |
| 0 | 0 | 0 |
| 161,36 | 203,82 | 225,05 |
| 212,31 | 309,98 | 365,18 |
| 314,23 | 445,86 | 513,8 |
| 369,43 | 501,06 | 632,7 |
| 394,9 | 539,28 | 683,65 |
| 424,63 | 590,23 | 802,55 |
| 479,83 | 653,93 | 845,01 |
| 721,87 | 1053,08 | 1460,72 |
| 819,53 | 1239,92 | 1770,7 |
| 832,27 | 1324,84 | 1932,06 |
| 836,52 | 1380,04 | 2038,22 |
| 997,88 | 1596,6 | 2343,95 |
| 1091,3 | 1736,73 | 2399,15 |
| 1129,51 | 1817,41 | 2535,03 |
| 1146,5 | 1872,61 | 2577,49 |

Tabla N° 5: Capacidad promedio de succión



3.3.4 Grafico de velocidad de succión

El ajuste sigue una aproximación lineal, se muestran los valores de R^2

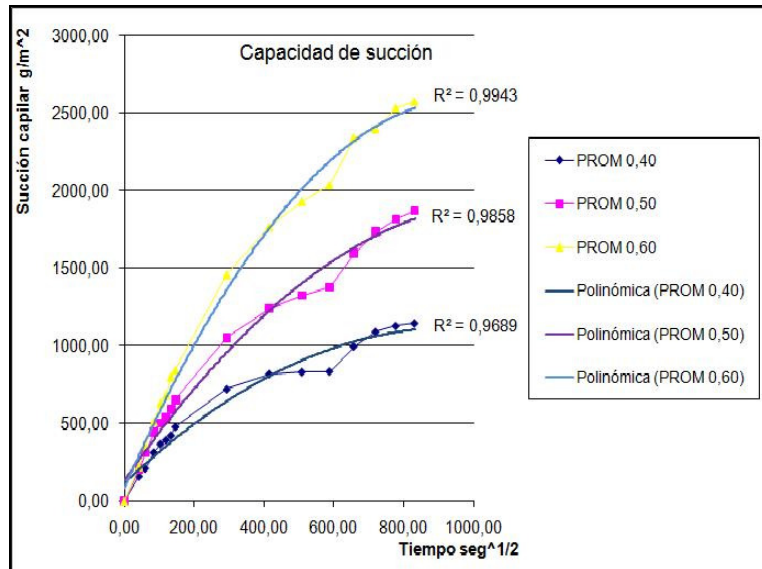


Gráfico N° 2: Capacidad promedio de succión

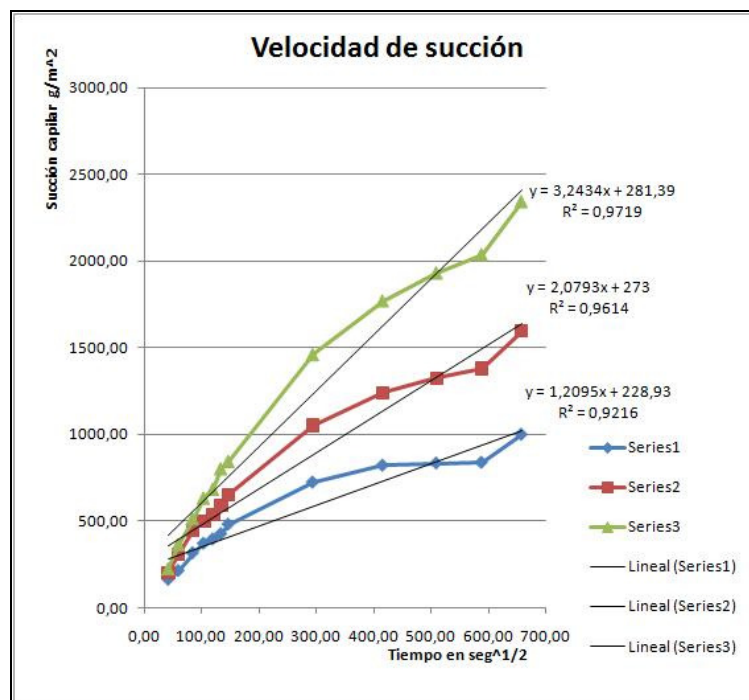


Gráfico N° 3: Velocidad de succión



4. Resumen de resultados

Los resultados finales que obtuvimos son los que se muestran en la siguiente tabla:

| VELOCIDAD Y CAPACIDAD DE SUCCION CAPILAR | | | |
|---|--------|---------|---------|
| agua/cemento | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Vs [$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{seg}^{1/2}$] | 1,21 | 2,08 | 3,24 |
| Cs (g/m^2) | 1446,5 | 1872,61 | 2577,49 |

Tabla N° 6: Resumen de resultados

5. Discusión y resultados

En base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados para los casos analizados en el presente trabajo se puede concluir que:

- En los diferentes hormigones, la velocidad y capacidad de succión capilar se incrementan con el aumento de la relación agua cemento.
- Puede observarse en los gráficos que el aumento de la relación agua/cemento produce una mayor dispersión en las curvas de absorción.
- Los valores obtenidos tienen una buena correlación entre ellos y cumplen con los valores establecidos por norma.

5.1 Consideraciones Finales

Los resultados informados corresponden al primer ensayo realizado, el cual sirvió para habituarse al instrumental y al procedimiento empleado. Se aspira a seguir trabajando en el mismo tema con el fin de adquirir cierta destreza en la ejecución del ensayo.



*Ministerio de Educación
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Plata*

6. Bibliografía

- IRAM 1871, Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido, 2004
- G. Menéndez, V.L. Bonavetti, E.F. Irassar, Absorción capilar en hormigones con cemento compuesto, Hormigón 38, 2002. Pp.25-34
- Durabilidad del hormigón estructural” Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón
- Curso de Tecnología del Hormigón A. N. Castiarena
- Revista ciencia y Tecnología del hormigón N° 10
- Reglamento Cirsoc 201: Reglamento Argentino de estructuras de hormigón, Edición 2005
- IRAM 1546: 1992. "Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de compresión.", IRAM, Buenos Aires, Argentina.