



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**DESEMPEÑO DE ADITIVOS
HIDRÓFUGOS EN HORMIGONES
SOMETIDOS A PRESIÓN DE AGUA**

CLAUDIO ANTONIO ANIBAL MEDEL LAVIN

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:
HERNÁN SANTA MARÍA

Santiago de Chile, Diciembre, 2013.

(A mi Esposa y mi hijo Sebastian)

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Pontificia Universidad Católica de Chile, por entregarme durante estos años, el conocimiento y las herramientas necesarias para convertirme en un profesional integro.

De manera especial quiero agradecer al Profesor Hernán Santa María quien tuvo la mejor disposición para apoyarme en el desarrollo y finalización de mi trabajo de titulación.

No quiero dejar pasar esta instancia para agradecer a la Coordinadora del Programa, Elena Cornejo, por su excelente disposición y ayuda durante todo el desarrollo del programa.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	1
INDICE DE FIGURAS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
I. OBJETIVOS.....	5
II IMPERMEABILIDAD	6
II.1 Definiciones.....	6
II.2 Diseño de Mezclas.....	6
II.3 Desarrollo Dosificaciones	8
II.4 Programa de Trabajo.....	9
III MÉTODO DE ENSAYO	10
III.1 Acondicionamiento de las Muestras	10
III.2 Equipo de Impermeabilidad	11
III.3 Ensayo de Impermeabilidad	12
IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	14
IV.1 Análisis Hormigón Fresco HP1-HP4.....	16
IV.2 Análisis Hormigón Endurecido HP1-HP4	17
IV.3 Análisis Hormigón Fresco HP5-HP8.....	18
IV.4 Análisis Hormigón Endurecido HP5-HP8	18
IV.5 Análisis Hormigón Fresco HP9-HP12.....	19
IV.6 Análisis Hormigón Endurecido HP9-HP12	20
IV.7 Resumen Gráfico Resultados Hormigón Fresco	21
IV.7.1 Docilidad Hormigones HP1-HP12	21
IV.7.2 % Aire Hormigones HP1-HP12	22

IV.7.3 Densidad Hormigones 28 días HP1-HP12.....	22
IV.8 Análisis Bulbos de Penetración Media	23
IV.9 Análisis Bulbos de Penetración Máxima	24
V CONCLUSIONES.....	25
V.1 Normativa Nacional.....	25
V.2 Normativa Internacional	26
V.3 Fichas Técnicas Aditivos Impermeabilizantes	27
V.3.1 Aditivo Impermeabilizante de Fraguado Normal Sika 1	27
V.3.2 Aditivo Impermeabilizante de Masa Cave Fugo	28
BIBLIOGRAFÍA	29
A N E X O S.....	30

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla II.1: Dosificaciones Hormigones de Prueba HP1 a HP4.....	8
Tabla II.2: Dosificaciones Hormigones de Prueba HP5 a HP8.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla II.3: Dosificaciones Hormigones de Prueba HP9 a HP12.....	9
Tabla IV.4: Parámetros de Control Hormigones HP1-HP4	14
Tabla IV.5: Parámetros de Control Hormigones HP5-HP8	15
Tabla IV.6: Parámetros de Control Hormigones HP9-HP12	15
Tabla IV.7: Penetración de Agua de Acuerdo a Condiciones Ambientales.....	26

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura II-1: Curvas Granulométricas Faury	7
Figura II-2: Dosificación para Hormigones de Prueba	7
Figura II-3: Programa de Trabajo Hormigones de Prueba	9
Figura III-4: Esquema para la Ubicación de la Probeta de Hormigón.....	11
Figura III-5: Diseño Molde Equipo de Impermeabilidad.....	12
Figura III-6: Medición Penetración de Agua.....	13
Figura IV-7: Resistencias a Compresión Vs. A/C (HP1-HP4).....	17
Figura IV-8: Resistencias a Compresión Vs. A/C (HP5-HP8).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura IV-9: Resistencias a Compresión Vs. A/C (HP9-HP12).....	2¡Error! Marcador no definido.
Figura IV-10: Docilidad Hormigones HP1-HP12	2¡Error! Marcador no definido.
Figura IV-11: % Aire Hormigones HP1-HP12	22
Figura IV-12: Densidad Hormigones, Edad 28 días HP1-HP12	22
Figura IV-13: Penetración Media Hormigones HP1-HP12	23
Figura IV-14: Penetración Máxima Hormigones HP1-HP12	24

RESUMEN

El objetivo de esta memoria de título es Evaluar el desempeño de diferentes tipos de aditivos hidrófugos en la confección de hormigones de prueba, cuyas muestras serán sometidas a presión de agua.

La determinación de la permeabilidad bajo el método de la penetración de agua bajo presión, es aplicable a hormigones normales confeccionados con áridos cuya densidad seca sea $>2000 \text{ kg/m}^3$ y $D_n \leq 40 \text{ mm}$.

De acuerdo a lo anterior se procederá a la confección de 12 hormigones de prueba, cuyas materias primas fueron cuidadosamente seleccionadas y muestreadas.

Para el diseño de mezcla que permitió el cálculo de las dosificaciones, se utilizó el método de Faury el cual permite obtener hormigones con la máxima compacidad, a través del ajuste de las bandas granulométricas. El diseño se calculó para 1 m^3 , el cual se escaló a una prueba de laboratorio del orden de 40 litros por cada hormigón realizado. Las dosis de cemento a utilizar serán $240 \text{ (kg/m}^3)$, $270 \text{ (kg/m}^3)$, $300 \text{ (kg/m}^3)$ y $330 \text{ (kg/m}^3)$ respectivamente.

En vista de lo anterior y una vez evaluado los ensayos en hormigón fresco y endurecido, se pudo constatar que los aditivos hidrófugos no presentan mayor aporte a la impermeabilidad de los hormigones desarrollados. A modo de comparación, los hormigones patrón presentaron un mejor desempeño frente a la penetración de agua, entregando valores de resistencia mecánica asociados a la razón agua cemento y bulbos de penetración máxima, menores en dosis de cemento de $270 \text{ (kg/m}^3)$, $300 \text{ (kg/m}^3)$ y $330 \text{ (kg/m}^3)$ respectivamente.

ABSTRACT

The purpose of this title memory is evaluate the performance of differents types of chemical additives in the manufacture of test concrete, which will be to water pressure.

The determination of permeability under the method of penetration of water under pressure, is applicable to normal concretes made with aggregates whose dry density is $>2000 \text{ kg/m}^3$ y $D_n \leq 40 \text{ mm}$.

According to the above proceed to making 12 tests concrete, whose materials were carefully selected and sampled.

To the mixture design then allowed the calculation of dosification, it was Faury method which allows to obtain concretes with maximum compactness, through adjustment the size bands granulometrics.

The design was calculated for 1 m^3 , which is used a test of laboratory about 40 l for concrete.

The cement to be used will be 240 (kg/m^3), 270 (kg/m^3), 300 (kg/m^3) y 330 (kg/m^3) respectively.

In view of the above and once the test evaluated in fresh concrete and hard concrete, the additives is not present contribution to the permeability of concrete developed. By way of comparison, the concrete pattern showed a better performance concrete against penetration of water, providing the chemical strength values associated with the water cement ratio and maximum penetration bulbs, lower used of cement of 270 (kg/m^3), 300 (kg/m^3) y 330 (kg/m^3) respectively.

I OBJETIVOS

A continuación se presentan los objetivos generales del estudio:

- ✓ Evaluar el desempeño de diferentes tipos de aditivos hidrófugos en la confección de hormigones de prueba, cuyas muestras serán sometidas a presión de agua.
- ✓ Verificar condiciones de impermeabilidad en hormigones que cumplan con distintas dosis de cemento o en su defecto a diferentes relaciones agua cemento (A/C).

II IMPERMEABILIDAD

II.1 Definiciones

Impermeabilidad

La impermeabilidad corresponde a la capacidad del hormigón para evitar la penetración de agua bajo presión.

Para verificar condiciones de impermeabilidad en hormigones que cumplan con distintas dosis de cemento o en su defecto a diferentes relaciones agua cemento (A/C), se procederá a la confección de 12 hormigones de prueba, cuyas materias primas fueron cuidadosamente seleccionadas y muestreadas.

Para ello se procedió a la obtención de 600 kg de Arena y 600 kg de Gravilla, los cuales fueron caracterizados a través de una muestra representativa del empréstimo del orden de 60 kg por material. Para la caracterización se procedió a la realización de una granulometría y por otro lado la medición de las características físicas del material. Los resultados e informes respectivos se encuentran adjuntos en el anexo de esta memoria.

II.2 Diseño de Mezclas

Para el diseño de mezclas que permitió el cálculo de las dosificaciones anteriores, se utilizó el método de Faury, el cual permite obtener hormigones con la máxima compacidad, a través del ajuste de las bandas granulométricas.

El diseño se calculó para 1 m³, el cual se escaló a una prueba de laboratorio del orden de 40 litros por cada hormigón realizado. Las dosis de cemento a utilizar serán las siguientes: 240 (kg/m³), 270 (kg/m³), 300 (kg/m³) y 330 (kg/m³) respectivamente.

Es importante recalcar que para la obtención de los Faury, es necesario iterar sobre variables del tipo razón agua cemento y dosis de agua. Lo anterior permite obtener el diseño de mezcla inicial, el cual permitirá obtener a través de hormigones de prueba, las muestras necesarias para el desarrollo de las pruebas de impermeabilidad.

A continuación se adjuntan las vistas que va proporcionando el cálculo a través del método de Faury, para la obtención del hormigón patrón.

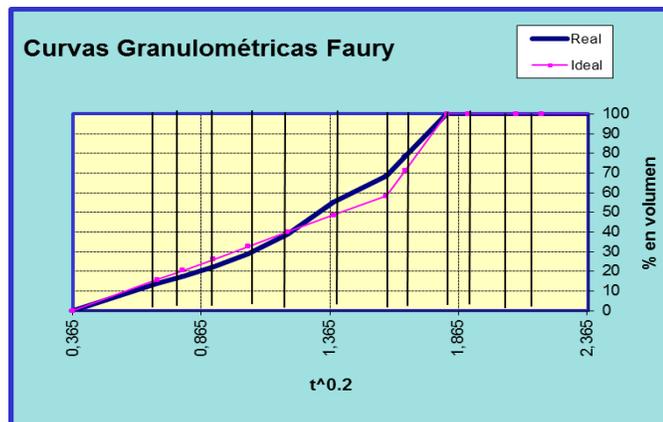


Figura II-1: Curvas Granulométricas Faury

A través de las curvas granulométricas que se identifican en color azul para la curva real y de color magenta para la curva ideal, se busca la superposición de ambas para obtener la máxima compacidad en el diseño de mezcla.

A continuación se adjunta el diseño inicial que permitió la verificación del hormigón patrón, permitiendo establecer el ajuste en la docilidad.

 Ingeniería Civil UC Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica <small>Escuela de Ingeniería</small>								N° Informe Prueba Inicial Fecha 19-08-2013 Solicitante Claudio Medel Encargado Marcelo Lobos	
DOSIFICACIÓN PARA HORMIGONES DE PRUEBA									
Tipo de Hormigón	HP0 (Hormigón de Prueba)								
Cantidad (l)	40								
Materiales Componentes	Proveedor	Unidades	Dosificación para (1m3)	Humedad (%)	Absorción (%)	Para (l)			
						40	Corrección	Total	Unidades
Cemento		kg	240			9,60	0,00	9,60	kg
Arena		kg	1086	7,78	2,12	43,44	2,46	45,90	kg
Grava		kg	0			0,00	0,00	0,00	kg
Gravilla		kg	875	2	0,95	35,00	0,37	35,37	kg
Agua		l	176			7,04	2,83	4,21	l
Primer Aditivo		kg	1,08			43,20	43,20	43,20	gr
Segundo Aditivo		kg	0			0,00	0,00	0,00	gr
Hora de Confección	15:00								
T° Materiales	-								
T° Ambiente	17								
T° Hormigón	13								
Asentamiento de Cono Inicial	1								
Asentamiento de Cono Final	8								
% de Aire	-								
Densidad Hormigón fresco	-								
Se adicionan 0,9 l de Agua para obtener cono 8.									
Notas Adicionales									

Figura II-2: Dosificación para Hormigones de Prueba

II.3 Desarrollo Dosificaciones

A continuación se adjuntan las dosificaciones usadas para el desarrollo y la confección de los 12 hormigones de prueba. En la Tabla II.1 se aprecian las 4 dosificaciones base sin aditivos impermeabilizantes, las cuales permitirán servir de patrón de comparación respecto a las siguientes dosificaciones.

Tabla II.1: Dosificaciones Hormigones de Prueba HP1 a HP4

Impermeabilidad	HP1	HP2	HP3	HP4
Fecha	26-08-2013	02-09-2013	16-09-2013	23-09-2013
Muestra (N°)	14195	14205	14229	14231
Cemento AR (CBB) (kg)	240	270	300	330
Arena (Lira) (kg)	1054	1004	946	933
Gravilla (Lira) (kg)	850	859	891	883
Agua (l/m3)	200,00	202,00	202,00	200,00
Aditivo Base Mira 65 Grace (kg)	1,08	1,22	1,35	1,49
Aditivo Hidrófugo 1 (Sika 1) (kg)	-	-	-	-
Aditivo Hidrófugo 2 (Cave Fugo) (kg)	-	-	-	-
Densidad sss (kg/m3)	2345	2336	2340	2347
A/C real	0,83	0,75	0,67	0,61

En la tabla II.2 se aprecian las 4 dosificaciones con aditivo impermeabilizante del tipo Sika 1, perteneciente a la Empresa Sika

Tabla II.2: Dosificaciones Hormigones de Prueba HP5 a HP8

Impermeabilidad	HP5	HP6	HP7	HP8
Fecha	02-09-2013	09-09-2013	23-09-2013	30-09-2013
Muestra (N°)	14206	14223	14230	14233
Cemento AR (CBB) (kg)	240	270	300	330
Arena (Lira) (kg)	1054	1004	946	933
Gravilla (Lira) (kg)	850	859	891	883
Agua (l/m3)	195,20	196,60	197,50	195,05
Aditivo Base Mira 65 Grace (kg)	1,08	1,22	1,35	1,49
Aditivo Hidrófugo 1 (Sika 1) (kg)	4,80	5,40	4,50	4,95
Aditivo Hidrófugo 2 (Cave Fugo) (kg)	-	-	-	-
Densidad sss (kg/m3)	2345	2336	2340	2347
A/C real	0,81	0,73	0,66	0,59

En la tabla II.3 se aprecian las 4 dosificaciones con aditivo impermeabilizante del tipo Cave Fugo, perteneciente a la Empresa Cave.

Tabla II.3: Dosificaciones Hormigones de Prueba HP9 a HP12

Impermeabilidad	HP9	HP10	HP11	HP12
Fecha	26-08-2013	09-09-2013	16-09-2013	30-09-2013
Muestra (N°)	14196	14224	14232	14234
Cemento AR (CBB) (kg)	240	270	300	330
Arena (Lira) (kg)	1054	1004	946	933
Gravilla (Lira) (kg)	850	859	891	883
Agua (l/m3)	195,20	196,60	197,50	195,05
Aditivo Base Mira 65 Grace (kg)	1,08	1,22	1,35	1,49
Aditivo Hidrófugo 1 (Sika 1) (kg)	-	-	-	-
Aditivo Hidrófugo 2 (Cave Fugo) (kg)	4,80	5,40	4,50	4,95
Densidad sss (kg/m3)	2345	2336	2340	2347
A/C real	0,81	0,73	0,66	0,59

II.4 Programa de Trabajo

El diseño de los 12 hormigones se estableció de modo de poder cumplir con el presente programa de trabajo. La idea de acuerdo al ensayo a realizar, es poder medir impermeabilidad por grupo de hormigones, lo cual se traduce en 36 probetas de hormigón sometidas a presión de agua.

Hormigones	Muestra N°	Fecha de confección	Fecha Inicio de Ensayo	Fecha Terminó de Ensayo	Edad al inicio del ensayo (Días)	Status
HP1	14195	26-08-2013	08-11-2013	11-11-2013	74	OK
HP9	14196	26-08-2013	08-11-2013	11-11-2013	74	OK
HP2	14205	02-09-2013	11-11-2013	14-11-2013	70	OK
HP5	14206	02-09-2013	11-11-2013	14-11-2013	70	OK
HP6	14223	09-09-2013	15-11-2013	18-11-2013	67	OK
HP10	14224	09-09-2013	15-11-2013	18-11-2013	67	OK
HP3	14229	16-09-2013	18-11-2013	21-11-2013	63	OK
HP11	14232	16-09-2013	18-11-2013	21-11-2013	63	OK
HP7	14230	23-09-2013	22-11-2013	25-11-2013	60	OK
HP4	14231	23-09-2013	22-11-2013	25-11-2013	60	OK
HP8	14233	01-10-2013	25-11-2013	28-11-2013	55	OK
HP12	14234	01-10-2013	25-11-2013	28-11-2013	55	OK

Figura II-3: Programa de trabajo hormigones de prueba

Es importante considerar que las pruebas iniciales pudieron comenzar, una vez realizado el hormigón de prueba denominado HP0, el cual permitió realizar los ajustes sobre el resto de los hormigones.

En relación a los ensayos, por motivos de prueba en el equipo, se decidió la confección de los 12 hormigones de prueba, para luego comenzar con los ensayos en el mes de noviembre. Dado lo anterior las edades de ensayo fueron distintas, teniendo como precaución que toda muestra a ensayar contará con más de 28 días de edad.

III MÉTODO DE ENSAYO

III.1 Acondicionamiento de las muestras

Por cada hormigón se confeccionaron 6 probetas cúbicas de 15 cm cada una, compactadas según NCh1017, las cuales fueron ingresadas a cámara húmeda para conservar una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Posteriormente fueron desmoldadas de acuerdo a NCh1017 y llevadas a piscina de curado pasadas las 48 horas de realizada la confección.

Estas se mantendrán sumergidas hasta pasados los 28 días de edad, momento en el cual se decidirá la edad de ensayo final. Cabe recalcar que pasadas las 7 semanas de edad, ya se ha producido más del 70% de la hidratación del cemento, por ende no se registrarán diferencias en la Impermeabilidad producto de la diferencia en las edades de ensayo.

Los ensayos que permitirán caracterizar a las muestras de hormigón fresco, serán los siguientes:

- ✓ Determinación de Docilidad a través de ensayo del cono de Abrams, de acuerdo a NCh 1565.
- ✓ Determinación de la temperatura, de acuerdo a ASTM C 1064.
- ✓ Densidad aparente del hormigón fresco, de acuerdo a NCh 1564.
- ✓ Contenido de aire a través del Método de Presión, de acuerdo a ASTM C 231.

En relación a lo anterior, a los 10 ± 3 días, las probetas moldeadas de hormigón serán acondicionadas para los ensayos de Impermeabilidad, para ello la zona de dicha cara que no estará sometida a la presión de agua, recibirá la aplicación de un material de sellado, siendo usado para ello un revestimiento elástico para impermeabilización del tipo Igolflex Gris de la empresa Sika. Después de 12 horas de aplicado el producto, se devuelven las probetas a las condiciones ya descritas en el punto anterior.

De acuerdo a ello, 3 probetas permitieron la realización de los ensayos de resistencia, las restantes fueron destinadas de acuerdo al programa de ensayos de Impermeabilidad para ser sometidas a presión de agua de acuerdo a la edad indicada en tabla N°4.

III.2 Equipo de Impermeabilidad

El equipo de Impermeabilidad fue confeccionado para permitir el ensayo de 2 hormigones en paralelo, considerando la realización del ensayo para 6 probetas de hormigón. En este se aplicará la presión de agua para que actúe desde la zona superior, considerando la ubicación de la muestra con la cara de llenado hacia la parte inferior, permitiendo que las caras laterales queden a la vista durante el ensayo.

A continuación se observa un esquema que permite identificar la forma en la cual se posicionará la probeta de hormigón y la forma en que se procederá la aplicación de la presión de agua. Se fabricarán 6 moldes metálicos, no absorbentes, rígidos, de caras planas, paralelas y vértices que aseguren la estanqueidad del elemento.

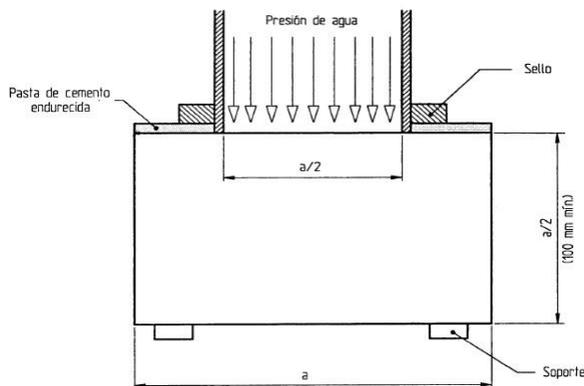


Figura III-4: Esquema para la ubicación de la probeta de hormigón

A modo ilustrativo se adjunta el diseño del molde que permitirá la realización de los ensayos de Impermeabilidad.

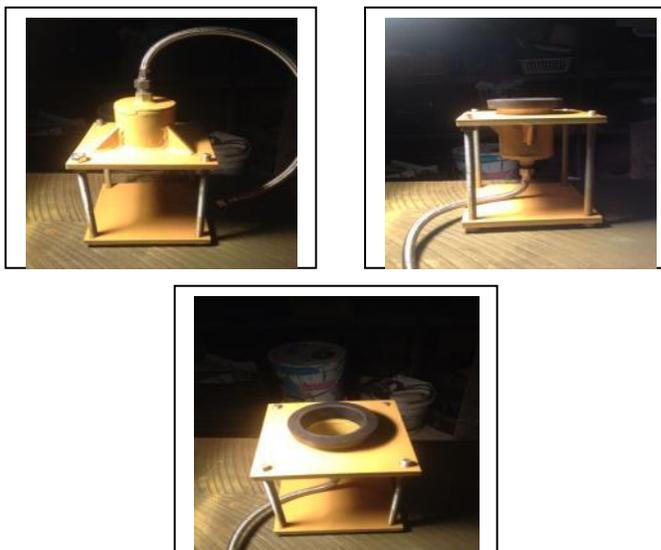


Figura III-5: Diseño Molde Equipo de Impermeabilidad

III.3 Ensayo de Impermeabilidad

Cuando las probetas cumplan 28 días de edad, estas se encontrarán en condiciones de ser ensayadas. En nuestro caso las edades de ensayo serán superiores y estas se encuentran detalladas en el programa de trabajo.

Las probetas se colocan en el equipo de Impermeabilidad de modo que la presión de agua actúe sobre la cara prevista y las otras caras puedan ser observadas.

De acuerdo a la imagen N°2 se coloca un anillo de goma en la unión entre la parte del equipo que aplica la presión de agua y la probeta de hormigón, de modo que no se produzcan pérdidas de agua en la interfaz.

Aplicar y mantener una presión de agua de $0,5 \text{ MPa} \pm 0,05 \text{ MPa}$, durante 72 ± 2 horas. Se debe evitar que el agua aflore hacia el exterior de alguna probeta, considerando la detención de ese ensayo y el registro de la presión y el tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo hasta el momento en que se produce dicho afloramiento.

Posterior al término del ensayo, se extraen las probetas en que no hubo afloramiento de agua, se procede al secado superficial y se traslada el molde hacia el equipo de hendimiento. Se debe romper las probetas cúbicas en dos mitades, paralelas a la dirección de aplicación de la presión de agua.

Producida la rotura, se debe establecer de manera inmediata la profundidad de penetración de agua y la forma en que se distribuye el bulbo de penetración. Para lo anterior se dibujará indeleblemente una curva que muestre lo señalado.

Se medirá la máxima profundidad de penetración de agua en cada una de las probetas, con aproximación a 1 mm. La permeabilidad del hormigón medida como penetración de agua, será el promedio de las máximas profundidades de penetración de agua medidas en 3 probetas.

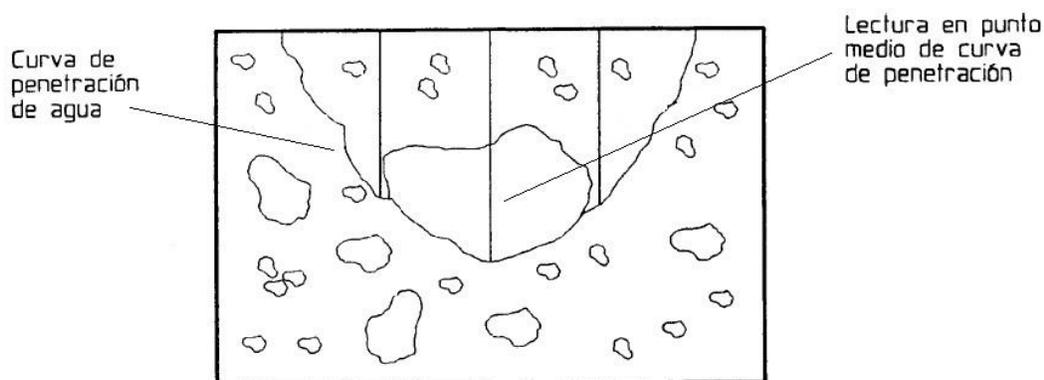


Figura III-6: Medición Penetración de Agua

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez concluido el desarrollo de los hormigones de prueba, los cuales permitirán obtener la batería de muestras para los ensayos de impermeabilidad. Se definió la caracterización de ellos mediante el análisis en muestras de hormigón fresco y resistencias en hormigón endurecido.

Los siguientes resultados son los obtenidos en el muestreo de los hormigones confeccionados en laboratorio y de los parámetros de control, los cuales permitirán establecer las correlaciones una vez realizados los ensayos de Impermeabilidad.

Tabla IV.4: Parámetros de Control Hormigones HP1-HP4

Impermeabilidad	HP1	HP2	HP3	HP4
Parámetros de Control				
Agua Dosificación (l/m3)	200,00	202,00	202,00	200,00
Agua real (l/m3)	192	192,5	194	190,8
Cono (cm)	9	11	12	10
T°H°/T°A°	13/17	14,3/13	11//13	15,3/22
% Aire	1,8	1,5	1	1,5
Densidad H° Fresco (kg/m3)	2361	2367	2384	2410
Densidades (kg/m3)				
D7	2406,81	2404,44	2403,85	2432,67
D28	2408,53	2393,78	2408,59	2458,96
D28	2404,74	2389,04	2386,07	2345,26
D28 prom.	2406,64	2391,41	2397,33	2402,11
R7	184	215	245	370
R28	249	281	305	393
R28	256	285	301	417
R28 promedio	253	283	303	405

Tabla IV.5: Parámetros de Control Hormigones HP5-HP8

Impermeabilidad	HP5	HP6	HP7	HP8
Parámetros de Control				
Agua Dosificación (l/m3)	195,20	196,60	197,50	195,05
Agua real (l/m3)	187,8	181,6	188,8	185
Cono (cm)	12	12	13	12
T°H°/T°A°	14,4/13	19,7/23	15,4/22	16/20
% Aire	3,5	2,8	1,3	2,8
Densidad H° Fresco (kg/m3)	2322	2370	2408	2370
Densidades (kg/m3)				
D7	2389,04	2387,64	2426,07	2419,56
D28	2388,15	2429,93	2456,3	2400
D28	2373,63	2425,48	2456,59	2405,04
D28 prom.	2380,89	2427,71	2456,45	2402,52
R7	174	226	293	353
R28	235	288	342	421
R28	239	291	354	418
R28 promedio	237	290	348	420

Tabla IV.6: Parámetros de Control Hormigones HP9-HP12

Impermeabilidad	HP9	HP10	HP11	HP12
Parámetros de Control				
Agua Dosificación (l/m3)	195,20	196,60	197,50	195,05
Agua real (l/m3)	187,4	189	181,4	182,5
Cono (cm)	11	10	13	12
T°H°/T°A°	13,2/17	20,6/24	11,2/12	16,8/19
% Aire	2,6	2,5	2,4	2,4
Densidad H° Fresco (kg/m3)	2350	2378	2375	2381
Densidades (kg/m3)				
D7	2390,22	2373,93	2371,44	2444,15
D28	2390,51	2394,07	2403,85	2429,93
D28	2399,4	2374,52	2412,74	2435,56
D28 prom.	2394,96	2384,30	2408,30	2432,75
R7	166	234	247	378
R28	223	289	320	416
R28	227	291	324	411
R28 promedio	225	290	322	414

En relación a los análisis que permitirán establecer las correlaciones de este trabajo y luego las conclusiones, lo dividiremos en 2 partes, siendo la primera el análisis de los parámetros de control medidos tanto en hormigón fresco como endurecido. En una segunda parte trabajaremos con los bulbos de penetración y las alturas de penetración media y máxima.

Todo lo anterior se enmarca en la idea de establecer un análisis desde el origen, tanto en el hormigón fresco como en el hormigón endurecido.

IV.1 Análisis Hormigón Fresco HP1-HP4

De acuerdo a los resultados obtenidos en los primeros 4 hormigones de prueba se puede distinguir lo siguiente:

Asentamiento de cono (Docilidad de los hormigones)

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo el cono 10 cm el que se buscaba inicialmente. Para los 4 hormigones, la docilidad no se convirtió en un parámetro incidente que permitiera alterar las resistencias y la permeabilidad de los hormigones.

% de Aire (Método de presión)

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo inferior al 5% en todos los casos. Para los 4 hormigones, el % de aire no se convirtió en un parámetro incidente que permitiera alterar las resistencias y la permeabilidad de los hormigones.

Densidad Hormigón Fresco

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo mayor a 2300 kg/m³ en todos los casos. Para los 4 hormigones, la densidad del hormigón fresco se relaciona directamente con la disminución de la relación agua cemento, por ende a mayor densidad se distinguen hormigones de mejor calidad, lo que se traduce en hormigones con una mayor impermeabilidad.

IV.2 Análisis Hormigón Endurecido HP1-HP4

De acuerdo a los resultados obtenidos en los primeros 4 hormigones de prueba se puede distinguir lo siguiente:

Densidad Hormigón Endurecido

Para los 4 hormigones, la densidad del hormigón endurecido se relaciona directamente con la disminución de la relación agua cemento, por ende a mayor densidad se distinguen hormigones de mejor calidad, lo que se traduce en hormigones con una mayor impermeabilidad.

Resistencias a Compresión

Para los 4 hormigones de prueba, se consideró la realización de 3 probetas cúbicas de 15x15 cm, las cuales fueron ensayadas a la edad de 7 y 28 días. En relación a ello se adjunta la curva de crecimiento, la cual muestra el desarrollo de las resistencias a medida de la disminución en la relación agua cemento. Claramente se puede identificar que a medida que disminuye la relación A/C se produce un crecimiento en las resistencias mecánicas del hormigón. Por otro lado el hecho de que las curvas queden prácticamente superpuestas a los 28 días, nos entrega la seguridad que las probetas que serán usadas para el ensayo de Impermeabilidad son adecuadas y no presentaran desviaciones.

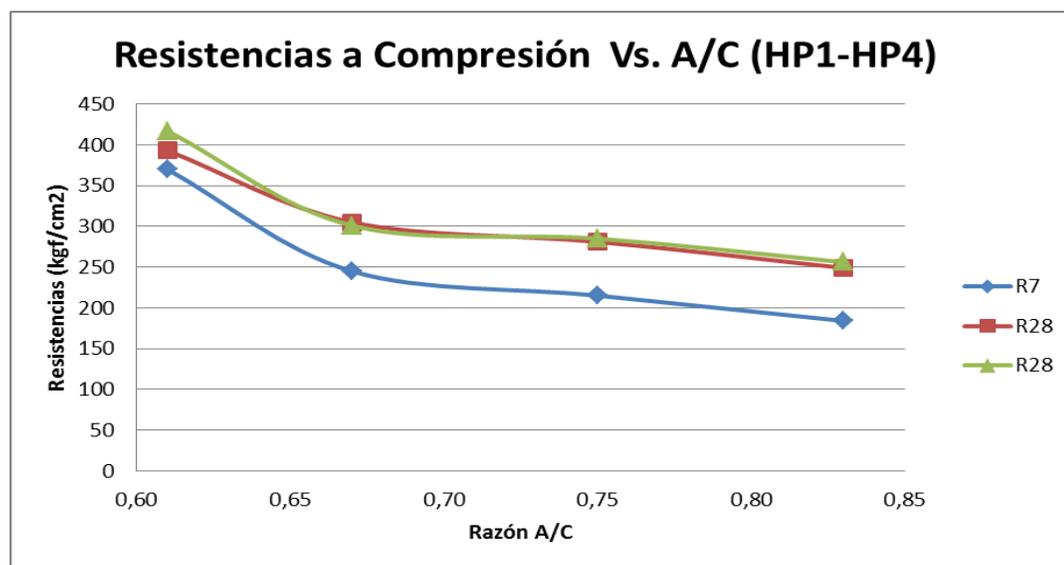


Figura IV-7: Resistencias a Compresión Vs. A/C (HP1-HP4)

IV.3 Análisis Hormigón Fresco HP5-HP8

De acuerdo a los resultados obtenidos en el segundo grupo de hormigones de prueba, cuya diferencia con los primeros radica en la adición de aditivo Impermeabilizante del tipo Sika 1, se puede distinguir lo siguiente:

Asentamiento de cono (Docilidad de los hormigones)

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo el cono 10 cm el que se buscaba inicialmente. Para los 4 hormigones, la docilidad no se convirtió en un parámetro incidente que permitiera alterar las resistencias y la permeabilidad de los hormigones. Cabe recalcar que la adición de aditivo Impermeabilizante, generó un aumento en la docilidad de los hormigones, teniendo como precaución la disminución en la cantidad de agua de amasado.

% de Aire (Método de presión)

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo inferior al 5% en todos los casos. Para los 4 hormigones, el % de aire no se convirtió en un parámetro incidente que permitiera alterar las resistencias y la permeabilidad de los hormigones. Ahora bien claramente se puede apreciar como el aditivo Impermeabilizante genera un aumento en el porcentaje de aire de los hormigones confeccionados.

Densidad Hormigón Fresco

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo mayor a 2300 kg/m³ en todos los casos. Para los 4 hormigones, la densidad del hormigón fresco se relaciona directamente con la disminución de la relación agua cemento, por ende a mayor densidad se distinguen hormigones de mejor calidad, lo que se traduce en hormigones con una mayor impermeabilidad.

IV.4 Análisis Hormigón Endurecido HP5-HP8

De acuerdo a los resultados obtenidos en el segundo grupo de hormigones de prueba se puede distinguir lo siguiente:

Densidad Hormigón Endurecido

Para los 4 hormigones, la densidad del hormigón endurecido se relaciona directamente con la disminución de la relación agua cemento, por ende a mayor densidad se distinguen

hormigones de mejor calidad, lo que se traduce en hormigones con una mayor impermeabilidad.

Resistencias a Compresión

Para el segundo grupo de hormigones de prueba, se consideró la realización de 3 probetas cúbicas de 15x15 cm, las cuales fueron ensayadas a la edad de 7 y 28 días. En relación a ello se adjunta la curva de crecimiento, la cual muestra el desarrollo de las resistencias a medida de la disminución en la relación agua cemento. En relación a la superposición de las curvas a 28 días se produce el mismo efecto ya comentado en IV.2.

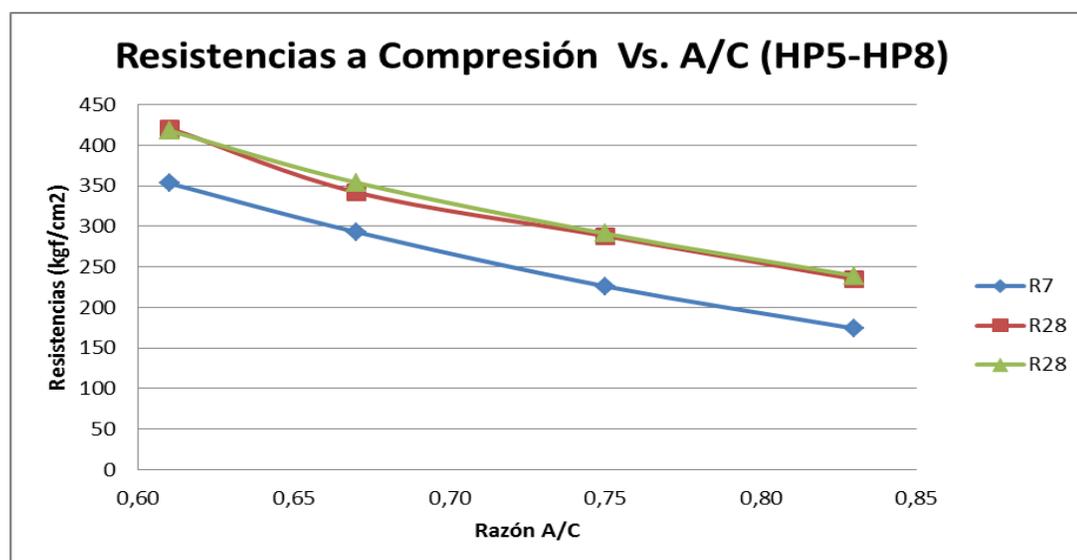


Figura IV-8: Resistencias a Compresión Vs. A/C (HP5-HP8)

IV.5 Análisis Hormigón Fresco HP9-HP12

De acuerdo a los resultados obtenidos en el tercer grupo de hormigones de prueba, cuya diferencia con el segundo grupo radica en la adición de aditivo Impermeabilizante del tipo Cave Fugo, se puede distinguir lo siguiente:

Asentamiento de cono (Docilidad de los hormigones)

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo el cono 10 cm el que se buscaba inicialmente. Para los 4 hormigones, la docilidad no se convirtió en un parámetro incidente que permitiera alterar las resistencias y la permeabilidad de los hormigones.

Cabe recalcar que la adición de aditivo Impermeabilizante, generó un aumento en la docilidad de los hormigones, teniendo como precaución la disminución en la cantidad de agua de amasado y por ende su respectiva corrección.

% de Aire (Método de presión)

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo inferior al 5% en todos los casos. Para los 4 hormigones, el % de aire no se convirtió en un parámetro incidente que permitiera alterar las resistencias y la permeabilidad de los hormigones. Ahora bien claramente se puede apreciar como el aditivo Impermeabilizante, si lo comparamos con los hormigones patrón generan un aumento en el porcentaje de aire de los hormigones confeccionados.

Densidad Hormigón Fresco

Muestra estar de acuerdo a tolerancia, siendo mayor a 2300 kg/m³ en todos los casos. Para los 4 hormigones, la densidad del hormigón fresco se relaciona directamente con la disminución de la relación agua cemento, por ende a mayor densidad se distinguen hormigones de mejor calidad, lo que se traduce en hormigones con una mayor impermeabilidad.

IV.6 Análisis Hormigón Endurecido HP9-HP12

Análisis Hormigón Endurecido

De acuerdo a los resultados obtenidos en el segundo grupo de hormigones de prueba se puede distinguir lo siguiente:

Densidad Hormigón Endurecido

Para los 4 hormigones, la densidad del hormigón endurecido se relaciona directamente con la disminución de la relación agua cemento, por ende a mayor densidad se distinguen hormigones de mejor calidad, lo que se traduce en hormigones con una mayor impermeabilidad.

Resistencias a Compresión

Para el tercer grupo de hormigones de prueba, se consideró la realización de 3 probetas cubicas de 15x15 cm, las cuales fueron ensayadas a la edad de 7 y 28 días.

En relación a ello se adjunta la curva de crecimiento, la cual muestra el desarrollo de las resistencias a medida de la disminución en la relación agua cemento. En relación a la superposición de las curvas a 28 días se produce el mismo efecto ya comentado en IV.2.

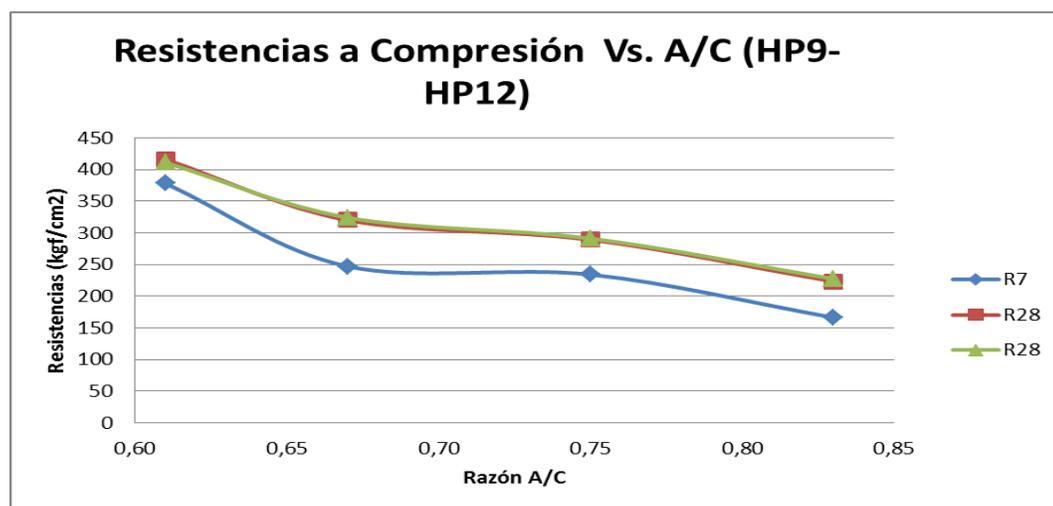


Figura IV-9: Resistencias a Compresión Vs. A/C (HP9-HP12)

IV.7. Resumen Gráfico Resultados Hormigón Fresco

IV.7.1 Docilidad Hormigones (HP1-HP12)

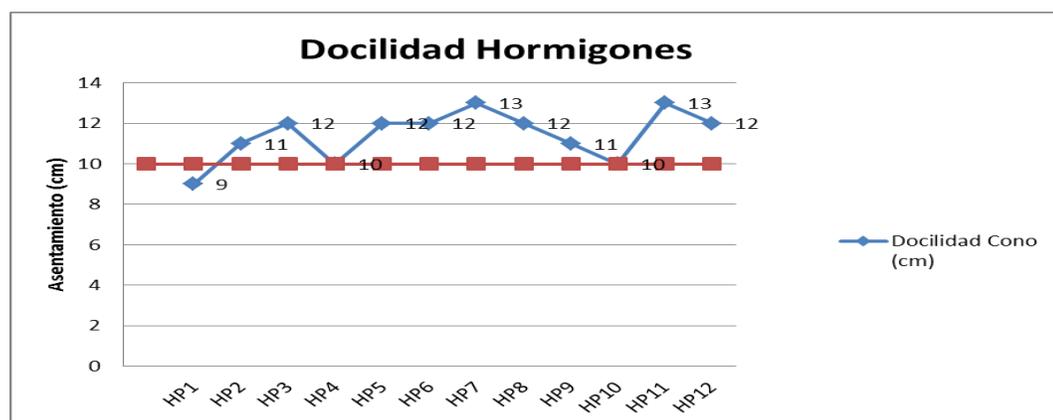


Figura IV-10: Docilidad Hormigones HP1-HP12

IV.7.2 % Aire Hormigones (HP1-HP12)

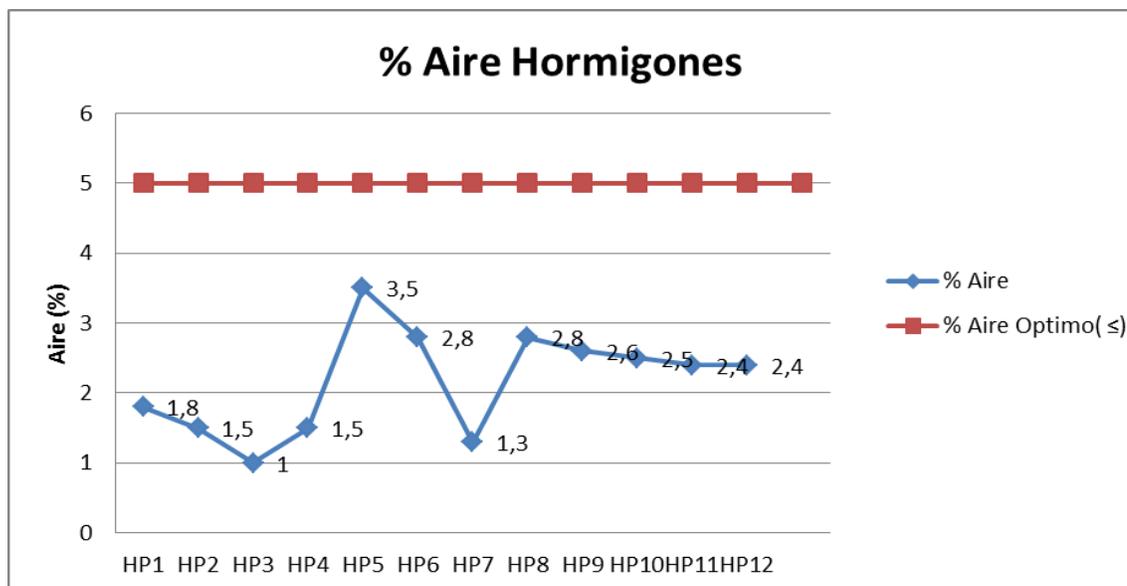


Figura IV-11: % Aire Hormigones HP1-HP12

IV.7.3 Densidad Hormigones 28 Días (HP1-HP12)

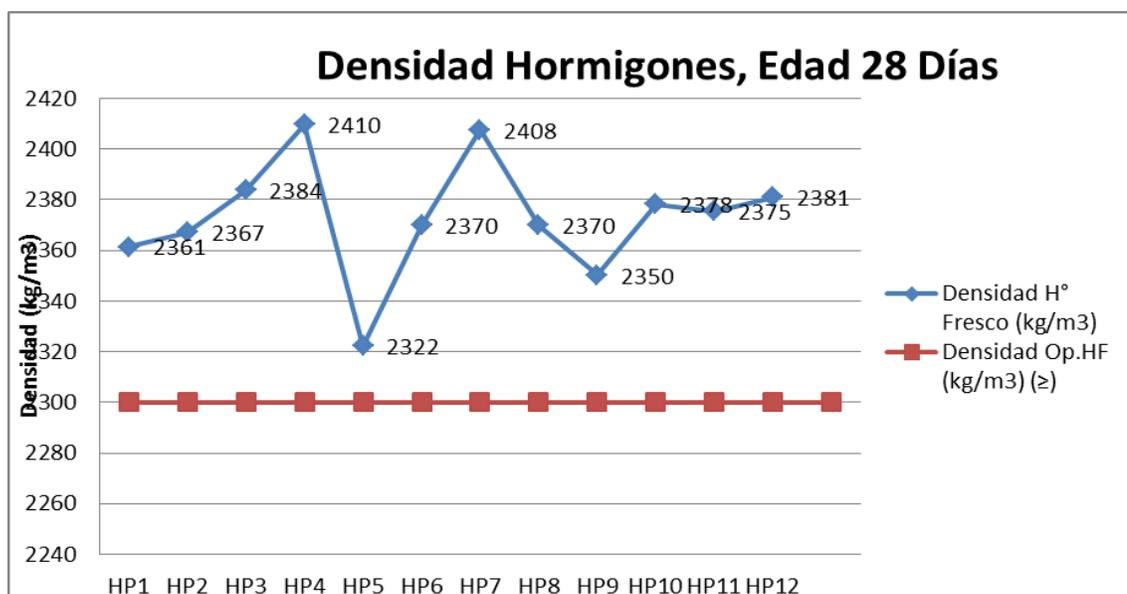


Figura IV-12: Densidad Hormigones, Edad 28 Días HP1-HP12

IV.8 Análisis Bulbos de Penetración Media

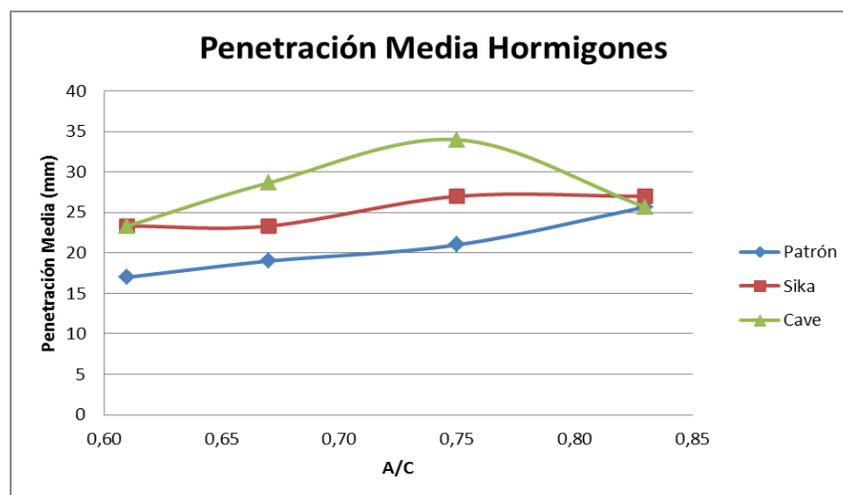


Figura IV-13: Penetración Media Hormigones HP1-HP12

En relación a la Figura III-6, la cual muestra la medición de penetración de agua en el punto medio de la probeta, se puede indicar lo siguiente:

- ✓ A medida que disminuye la relación agua cemento (A/C) en los hormigones patrón, se aprecia una reducción en la penetración media de agua en las probetas ensayadas.
- ✓ Respecto a la medición de la penetración en los hormigones con Aditivos Hidrófugos, las curvas muestran mayor claridad del descenso en la permeabilidad bajo la razón (A/C= 0,75).
- ✓ Respecto al desempeño de los aditivos Hidrófugos, estos presentaron valores de penetración de agua superiores a lo largo de toda la curva, lo cual nos permite dar respuesta a uno de los objetivos de este trabajo de titulación, dado que el desempeño de los aditivos hidrófugos en hormigones sometidos a presión de agua, muestra estar por debajo de aquellos hormigones que no contemplan aditivos hidrófugos en el diseño de mezcla inicial.
- ✓ Al realizar la comparación entre ambos aditivos, el aditivo Sika 1 presenta un mejor desempeño que el Cave Fugo a lo largo de 2 puntos de la curva, presentando menores profundidades de penetración de agua.

IV.9 Análisis Bulbos de Penetración Máxima

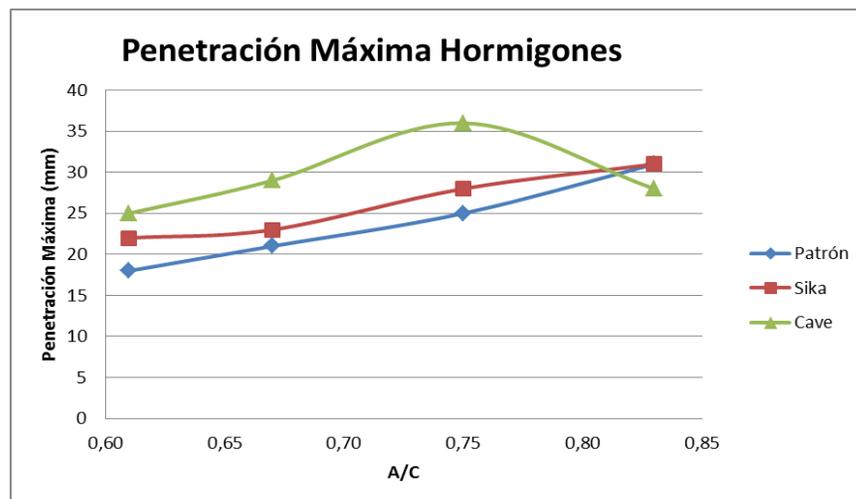


Figura IV-14: Penetración Máxima Hormigones HP1-HP12

En relación a la Figura III-6, se puede apreciar la curva de penetración de agua, sobre la cual debemos identificar la máxima penetración de agua en el bulbo. De acuerdo a ello podemos comentar lo siguiente:

- A medida que disminuye la relación agua cemento (A/C) en los hormigones patrón, se aprecia una reducción en la penetración media de agua en las probetas ensayadas.
- Respecto a la medición de la penetración en los hormigones con Aditivos Hidrófugos, las curvas muestran mayor claridad del descenso en la permeabilidad bajo la razón (A/C= 0,75), lo cual también se pudo identificar en la medición del bulbo en la zona media.
- Respecto al desempeño de los aditivos Hidrófugos, estos presentaron valores de penetración de agua superiores a los hormigones patrón a lo largo de toda la curva, teniendo como única excepción la razón (A/C=0,85).
- Al realizar la comparación entre ambos aditivos, el aditivo Sika 1 presenta un mejor desempeño que el Cave Fugo a lo largo de 3 puntos de la curva, presentando menores profundidades de penetración de agua.

V CONCLUSIONES

Posterior al análisis de los resultados, cuyas conclusiones y comentarios se pueden encontrar en el desglose de cada hormigón de prueba realizado, resta por comentar cual es la postura de las normativas vigentes tanto nacional como internacional, cual es la validez de los aditivos hidrófugos y por ende la validación de sus respectivas fichas técnicas.

V.1 Normativa Nacional

Frente a lo anterior la normativa nacional se pronuncia a través del Anexo G de la normativa vigente NCh170.Of1985, siendo entregadas algunas recomendaciones para el hormigonado en ambientes agresivos, donde la protección del hormigón se logra fundamentalmente con una excelente calidad en su fabricación, alta densidad, homogeneidad, baja razón agua cemento y con el empleo de cementos adecuados.

Se indica además que el hormigón que deba ser impermeable, o vaya a estar expuesto a ciclos de hielo-deshielo, debe controlarse a través de la reducción en la relación agua cemento.

Si tomamos como ejemplo la construcción de un Proyecto de Edificación en Altura en la ciudad de Santiago, cuyos elementos de hormigón se encontrarán con un nivel de exposición bajo, la norma no indica la razón agua cemento a utilizar, quedando esta liberada para la elección del Proyectista de la obra.

Respecto a la normativa vigente NCh2262.Of1997, que establece el procedimiento para la determinación en laboratorio de la impermeabilidad en hormigones. Se indica que la impermeabilidad corresponde a la capacidad del hormigón para evitar la penetración de agua bajo presión, teniendo presente el establecer que el cumplimiento de requisitos de penetración de agua bajo presión, no garantizan por sí solos la durabilidad del hormigón. Esta sólo se puede asegurar mediante un conjunto de requisitos, uno de los cuales sería la impermeabilidad al agua.

Respecto a la normativa en revisión NCh2262.Of2009, que reemplazará cuando sea declarada norma Chilena Oficial a la norma NCh2262.Of1997, el comité de norma indica que los valores de penetración máxima que se fijen en una especificación técnica, para asegurar baja permeabilidad del hormigón, deben considerar que de acuerdo a las condiciones de exposición, se debe cumplir adicionalmente con las razones agua cemento máximas establecidas en NCh170.Of1985.

V.2 Normativa Internacional

La instrucción española de hormigón estructural EHE08, establece para las condiciones de exposición, que la penetración de agua se encuentre definida de acuerdo a la Tabla V.6.

Tabla V.7: Penetración de Agua de acuerdo a Condiciones Ambientales

Condiciones Ambientales	Profundidad Máxima (mm)	Profundidad Media (mm)
a,b,c,e,f	50	30
d,f,g	30	20

Siendo las condiciones ambientales definidas de la siguiente manera:

- ✓ Medioambiente húmedo con heladas.
- ✓ Medioambiente húmedo con heladas y agentes de deshielo.
- ✓ Medioambiente marino sin heladas.
- ✓ Medioambiente marino con heladas.
- ✓ Medioambiente ligeramente agresivo químicamente y atmosferas industriales agresivas.
- ✓ Medioambiente moderadamente agresivo químicamente.
- ✓ Medioambiente fuertemente agresivo químicamente.

De acuerdo a lo anterior, los resultados obtenidos de penetración de agua no exceden en ninguno de los hormigones de prueba los 40 mm, lo que tomado del ejemplo usado para un Edificio en Santiago, permitiría cumplir con el nivel de permeabilidad sugerido en la normativa.

V.3 Fichas Técnicas aditivos Impermeabilizantes

Dentro de la línea de aditivos impermeabilizantes usados en la industria de los hormigones premezclados, destacan los aditivos usados en el desarrollo de los hormigones de prueba, cuyo desempeño fue comentado en el análisis de este trabajo. Ahora bien en relación a las ventajas que estos ofrecen en sus respectivas fichas técnicas, realizaremos el análisis.

V.3.1 Aditivo Impermeabilizante de Fraguado Normal Sika 1

- ✓ No se indica las presiones o rangos de presiones a los cuales trabaja, se omite la referencia a las profundidades de penetración de agua, hablar de impermeabilidad es un concepto bastante amplio, que no asegura de la efectividad y el desempeño del producto.
- ✓ Incrementa la trabajabilidad y no presenta influencia en las resistencias mecánicas
- ✓ Respecto a la trabajabilidad se observa claramente un aumento en la docilidad, producto de ello se disminuyó el agua de amasado para obtener igualdad en las relaciones agua cemento.
- ✓ El aumento en la trabajabilidad, se puede entender dado que los porcentajes de aire aumentaron con respecto a los hormigones patrón.
- ✓ Las diferencias en resistencias mecánicas son del orden de $\pm 10\%$, lo cual permite validar el que no alteran en mayor medida las resistencias en el hormigón.
- ✓ La aplicación de Sika 1 en el hormigón, garantiza una buena impermeabilidad
- ✓ No se hace referencia a que valores permiten estimar una buena impermeabilidad, no se hace alusión a normativa vigente.

V.3.2 Aditivo Impermeabilizante de Masa CaveFugo

- ✓ Se ha podido establecer que la impermeabilidad no es integral, si no más bien un valor que depende de factores como la relación agua cemento y del grado de resistencia de los hormigones.
- ✓ Se omite el tipo de cemento utilizado y las dosis de cemento necesarias para cumplir con este desempeño. En nuestro caso esto es posible no utilizando dosis mínima.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Steven H. Kostmatka and William C. Panarese (1992), Diseño y Control de Mezclas de Concreto.
- [2] A.M. Neville and J.J. Brooks (1998), Tecnología del Concreto.
- [3] Andrés Solas A. and Ricardo Giani D. (2010), Tecnología del Hormigón Avanzada.
- [4] Hernán Zabaleta G. (2003), Tecnología de la Construcción en Hormigón.
- [5] Comité ACI 308 R-01, Standard Practice for Curing Concrete.
- [6] NCh2262.Of97, Hormigón y Mortero, Métodos de Ensayo, Determinación de la Impermeabilidad al Agua, Método de la Penetración de Agua bajo Presión.
- [7] NCh2262.2009, Hormigón y Mortero, Métodos de Ensayo, Determinación de la Permeabilidad al Agua, Método de la Penetración de Agua bajo Presión.
- [8] UNE-EN 12390-8 (2001), Ensayos de Hormigón Endurecido, Profundidad de Penetración de Agua bajo Presión.
- [9] NCh1018.EOf77, Preparación de Mezclas de Prueba en Laboratorio.
- [10] NCh170.Of85, Hormigón, Requisitos Generales
- [11] NCh1017.EOf75, Hormigón, Confección y Curado en Obra de Probetas para Ensayos de Compresión y Tracción.
- [12] NCh1037.Of77, Hormigón, Ensayo de Compresión de Probetas Cúbicas y Cilíndricas.
- [13] NCh1170.Of77, Hormigón, Ensayo de Tracción por Hendimiento
- [14] NCh171.EOf75, Hormigón, Extracción de Muestras del Hormigón
- [15] NCh1019 (2008), Hormigón, Determinación de la Docilidad, Método del Asentamiento del Cono de Abrams.
- [16] NCh1564.Of79, Determinación de la Densidad Aparente, del Rendimiento, del Contenido de Cemento y del Contenido de Aire del Hormigón fresco.

ANEXOS



INFORME Nº 21083
FECHA 16-08-2013

PRYECTO	Impermeabilidad	DIRECCIÓN	Lira 2320
USUARIO	Claudio Medel Lavín	CIUDAD	Santiago

MUESTRA DE	Gravilla	TOMADA POR	Autocontrol
LUGAR DE MUESTREO	Acopio Planta Lira Ready Mix	FECHA	14-08-2013
Nº A. TÉCNICA	18655		

ENSAYO DE ARIDO GRUESO PARA HORMIGON

Según normas N Ch

1.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMICES			PORCENTAJE EN PESO QUE PASA POR CADA TAMIZ (GRADOS NCh 163)					
ASTM	Abertura	Pasa	63-40	50-25	50-5	40-20	40-5	25-5
Nº	mm	%						
2 1/2"	64,0	100	90-100	100	100			
2"	50,8	100	35-70	90-100	90-100	100	100	
1 1/2"	38,1	100	0-15	33-70		90-100	90-100	100
1"	25,4	100		0-15	35-70	20-55		90-100
3/4"	19,0	99,6	0-5			0-15	35-70	
1/2"	12,7	45,7		0-5	10-30			25-60
3/8"	9,51	21,6				0-5	10-30	
4	4,76	2,0			0-5		0-5	0-10
8	2,5	1,4						
Módulo de Finura (NCh 165)		6,75						

2.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Norma	Determinación	Resultado	Unidad	Especificación
NCh 1116	Densidad aparente compactada	1,64	kg/dm ³	---
NCh 1116	Densidad aparente suelta	1,48	kg/dm ³	---
NCh 1326	Huecos árido compactado	---	%	---
NCh 1326	Huecos árido suelto	---	%	---
NCh 1117	Densidad real del árido seco	2,63	kg/dm ³	---
NCh 1117	Densidad real del árido saturado superficialmente seco	2,66	kg/dm ³	---
NCh 1117	Densidad neta	2,70	kg/dm ³	---
NCh 1117	Absorción	0,95	%	máx:2,0
NCh 1223	Partículas menores que 0,080 mm separadas por lavado	0,74	%	máx:0,5-1,0
NCh 1327	Partículas desmenuzables	---	%	máx:5,0

OBSERVACIONES : **Árido muestreado por solicitante.**
Porcentaje de rodado
Porcentaje de chancado
Porcentaje de laja chancada

Claudio Medel Lavín



INFORME N° 21084
FECHA 16-08-2013

PROYECTO	Impermeabilidad	DIRECCION	Lira 2320
USUARIO	Claudio Medel Lavín	CIUDAD	Santiago

MUESTRA DE	Arena	TOMADA POR	Autocontrol
LUGAR DE MUESTREO	Acopio Planta Lira Ready Mix	FECHA	14-08-2013
N° A. TECNICA	18656		

ENSAYO DE ARIDO FINO PARA HORMIGON

Según normas N Ch

1.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMICES		PORCENTAJE EN PESO			ESPECIFICACIÓN
ASTM	Abertura	Retenido	Pasa	Corregido	Pasa
Nº	mm	%	%		%
3/8"	9,51	0,0	100		100
4	4,76	10,9	89		95 - 100
8	2,38	42,7	57		80 - 100
16	1,19	61,6	38		50 - 85
30	0,595	74,8	25		25 - 60
50	0,297	85,5	15		10 - 30
100	0,149	91,9	8		2 - 10
Módulo de finura (NCh 165)		3,39			2,3 - 3,1

2.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Norma	Determinación	Resultado	Unidad	Especificación
NCh 1116	Densidad aparente compactada	1,64	kg/dm ³	---
NCh 1116	Densidad aparente suelta	1,40	kg/dm ³	---
NCh 166	Impurezas orgánicas	1	Nº	máx:3
NCh 1223	Partículas menores que 0,080 mm	5,61	%	máx:3-5
NCh 1239	Densidad real del árido seco	2,61	kg/dm ³	---
NCh 1239	Densidad real del árido saturado superficialmente seco	2,67	kg/dm ³	---
NCh 1239	Densidad neta	2,77	kg/dm ³	---
NCh 1239	Absorción	2,12	%	máx:3
NCh 1325	Equivalente de arena	---	%	

OBSERVACIONES : Árido muestreado por solicitante.

Claudio Medel Lavín