

RESUMEN DE ESTUDIO DE DURABILIDAD DE HORMIGONES CON PENETRON ADMIX REALIZADO CON LABORATORIO DICTUC

1. Resultados de ensayos de resistencia a los cloruros de muestras de hormigón con y sin Penetron Admix realizados en laboratorio DICTUC

Estos ensayos se realizaron a hormigones con Penetron Admix sometidos al ataque de cloruros, se midió el coeficiente de difusión de cada grupo de muestras y se evaluó el descenso del ingreso de cloruros, desde la superficie hacia el interior de la muestra.

El contenido de cloruros totales fue determinado según ASTM C1152. b. El coeficiente de difusión aparente de cloruros corresponde al promedio del análisis de 7 capas, y los cálculos fueron realizados de acuerdo con norma ASTM C1556. Cabe destacar que, el método de ensayo acelerado de la norma ASTM C1556 aplica una concentración de cloruros equivalente a 4,7 veces (16% por/L) aproximadamente, respecto a la que se expone una estructura en ambiente marino.

Los resultados obtenidos fueron:

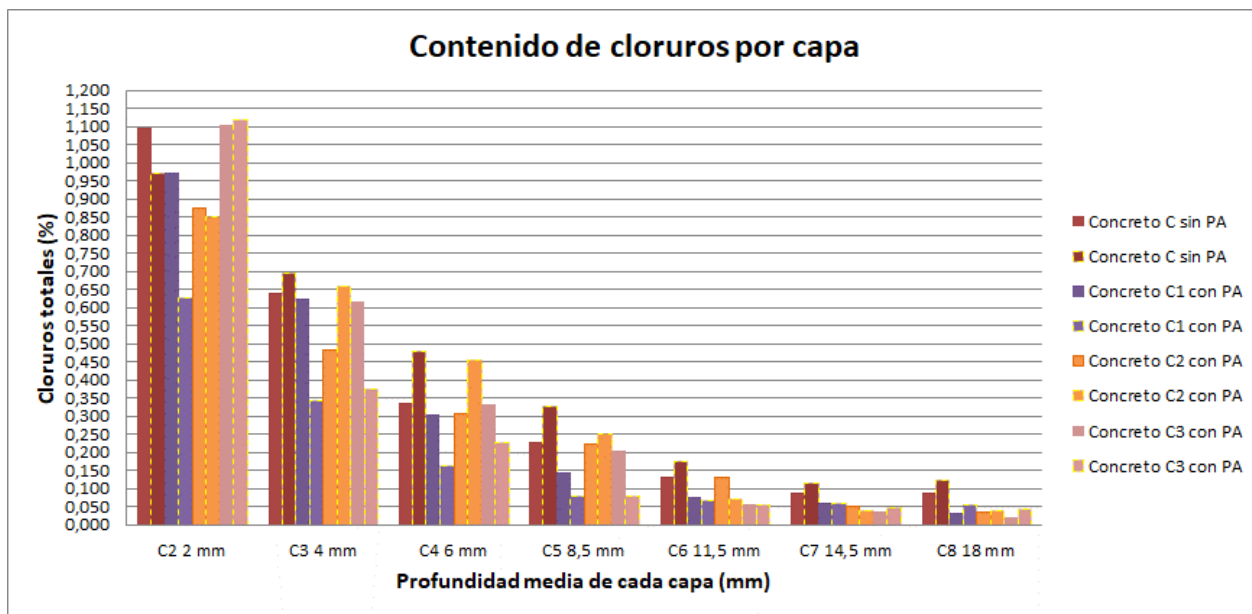
Tipo de Concreto	Tiempo de exposición (días)	Contenido inicial cloruros	Contenido superficial de cloruros	Coeficiente de difusión aparente de cloruros
		C _i (%)	C _s (%)	Da (m ² /s)
C SIN PA	35	0,036	1,53	7,20E-12
C1 CON PA		0,022	1,304	4,90E-12
C2 CON PA		0,015	1,275	6,17E-12
C3 CON PA		0,008	1,481	4,66E-12

En el hormigón con Penetron Admix, se obtuvo una disminución promedio de 50% del coeficiente de difusión aparente de cloruros respecto al hormigón sin Penetron Admix. Aplicando estos coeficientes de difusión en la segunda Ley de Fick y, considerando un recubrimiento de 6 cm, la vida útil del hormigón aumenta en 60 años.

Mediciones de contenido de ion cloruro en las muestras expuestas a una solución de cloruros 4,7 veces mayor al del ambiente marino:

Hormigón	Edad ensayo días	Tiempo Exposición días	Testigo N°	Contenido de ión cloruro %								
				Referencia	0 - 1 mm	1 - 3 mm	3 - 5 mm	5 - 7 mm	7 - 10 mm	10 - 13 mm	13 - 16 mm	16 - 20 mm
					0,5	2	4	6	8,5	11,5	14,5	18
C sin PA	75	35	T1	0,03	0,932	1,098	0,642	0,336	0,229	0,131	0,09	0,089
			T2	0,041	1,161	0,97	0,696	0,477	0,327	0,175	0,116	0,122
C1 con PA			T1	0,029	1,198	0,973	0,624	0,306	0,143	0,076	0,059	0,034
			T2	0,014	0,85	0,628	0,343	0,162	0,079	0,068	0,058	0,056
C2 con PA			T1	0,016	0,967	0,91	0,609	0,328	0,247	0,136	0,054	0,038
			T2	0,015	1,237	0,908	0,693	0,49	0,278	0,073	0,042	0,038
C3 con PA			T1	0,007	1,12	1,104	0,615	0,331	0,206	0,055	0,036	0,021
			T2	0,008	1,136	1,119	0,375	0,226	0,08	0,055	0,047	0,044

El hormigón con Penetron Admix expuesto a una solución de cloruros, a la profundidad de 18 mm, muestra una disminución promedio 10 veces menor de penetración del ion cloruro.



Para las muestras de hormigón con Penetron Admix, desde 14,5 mm de profundidad, la disminución del ingreso de ion cloruro tiende a cero. Las muestras de hormigón sin Penetron Admix presentan valores hasta 60% superiores de penetración de cloruros y se mantienen constantes sin descensos posteriores.

Certificados DICTUC de ensayos de hormigones expuestos a cloruros:

Informe Dictuc N° 1161766

Informe Dictuc N° 1161767

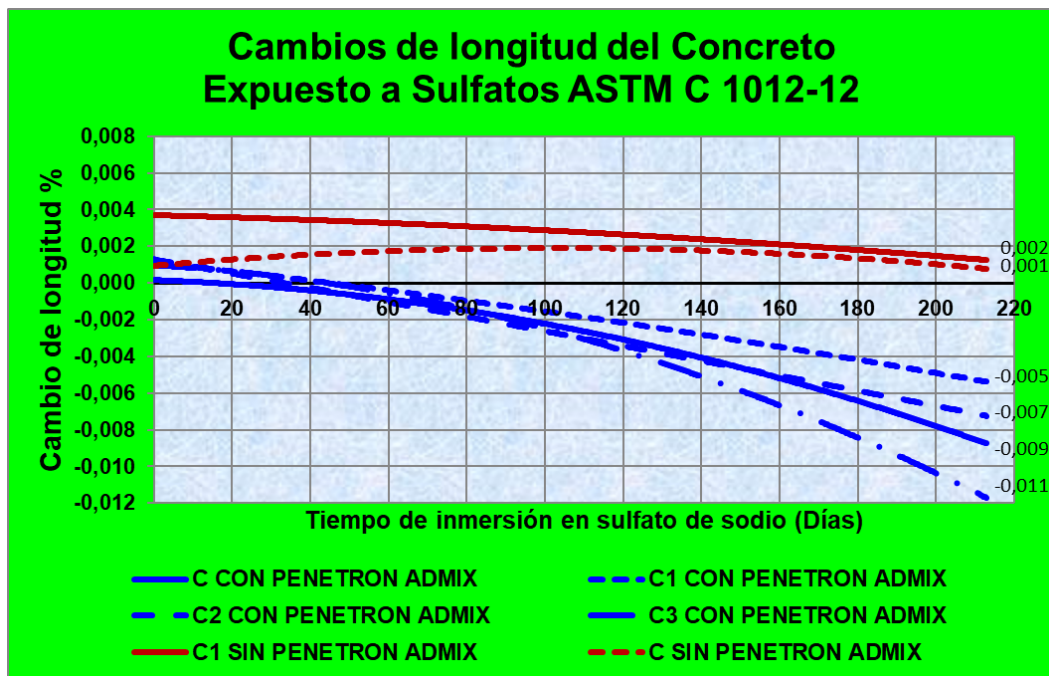
Informe Dictuc N° 1161768

Informe Dictuc N° 1161769

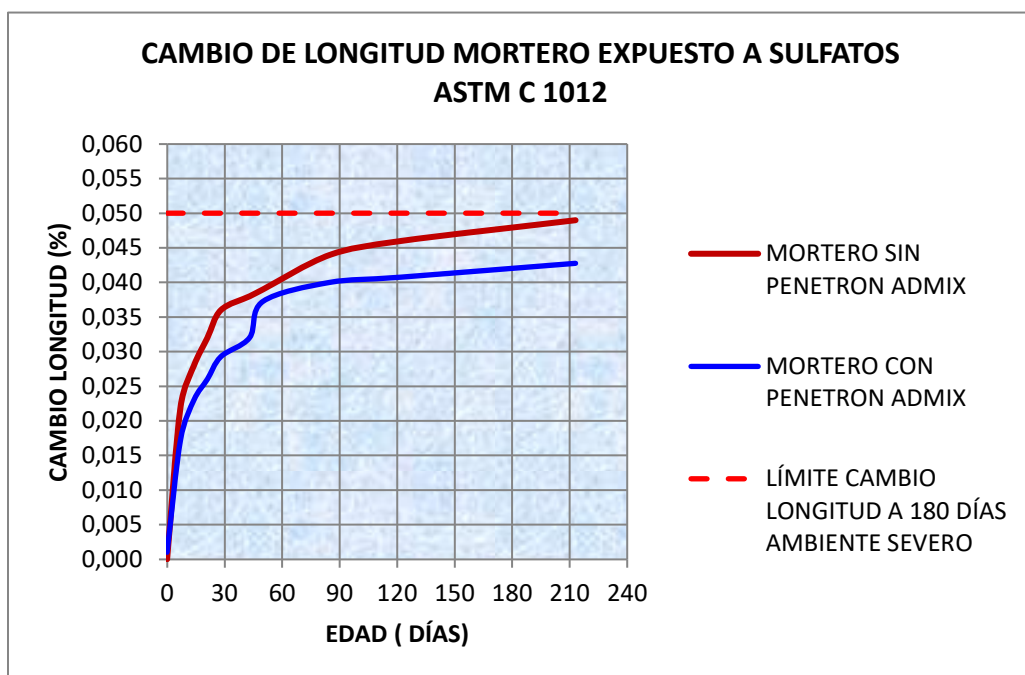
2. Resultados de ensayos de resistencia a los sulfatos de muestras de hormigón y mortero con y sin Penetron Admix, realizados en laboratorio DICTUC

Las probetas obtenidas de cada mezcla de prueba fueron ensayadas de acuerdo con la norma ASTM C1012, los valores informados en las tablas corresponden al promedio de 3 probetas de 75x75x285 mm.

Los resultados en muestras de hormigón y mortero obtenidos fueron:



El hormigón con Penetron Admix no fue afectado por la exposición a sulfatos y mostró un comportamiento normal de cambios de longitud (retracción). El hormigón sin Penetron Admix presentó **expansión** en todas edades de medición.



La norma ASTM C1157 establece como requisitos de cambios de longitud para morteros confeccionados en base a cementos hidráulicos y expuestos a una solución de sulfato, lo siguiente:

Tipo de cemento	MS	HS
Resistencia a los sulfatos		
• 6 meses (%)	0,10	0,05
• 12 meses (%)	---	0,10

Nota:

- MS: Cemento medianamente resistente a los sulfatos
- HS cemento altamente resistente a los sulfatos

La tendencia de los valores de cambios de longitud del mortero tratado con Penetron Admix es inferior que el límite establecido por la norma ASTM C1157 y la curva comienza a ser asintótica al eje X. Por el contrario, el mortero sin Penetron Admix, muestra una tendencia de la curva con mayor pendiente que traspasará el límite en el corto plazo y con valores de cambios de longitud 20% mayores.

Certificados DICTUC de ensayos de hormigones y morteros expuestos a sulfatos:

Informe Dictuc N° 1161791

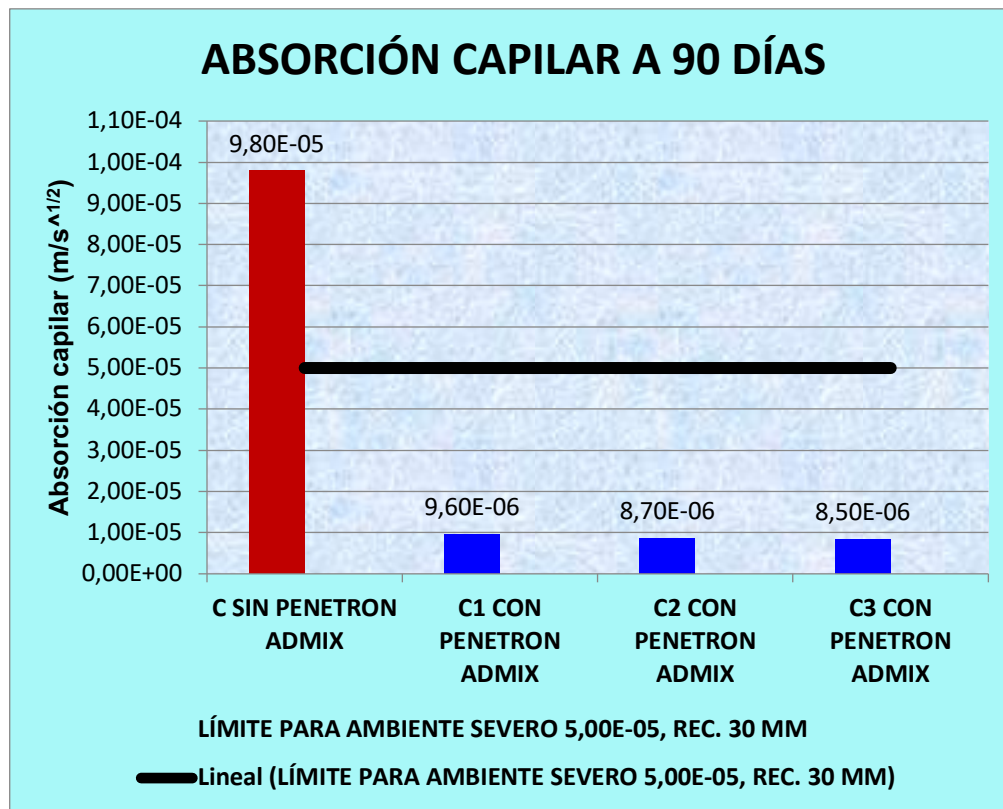
Informe Dictuc N° 1161792

Informe Dictuc N° 1161793

Informe Dictuc N° 1161794

3. Resultados de ensayos de Absorción Capilar de muestras de hormigón con y sin Penetron Admix realizados en laboratorio DICTUC.

	Edad (días)	Unidad	C SIN PENETRON ADMIX	C1 CON PENETRON ADMIX	C2 CON PENETRON ADMIX	C3 CON PENETRON ADMIX	Criterios de evaluación
Resistencia a la penetración de agua	28	s/m ²	7,15E+07	8,51E+07	1,97E+08	1,79E+09	
	90		1,04E+08	1,09E+10	1,33E+10	1,39E+10	
Coeficiente de absorción	28	kg/m ² s ^{1/2}	0,012	0,008	0,006	0,004	
	90		0,004	0,002	0,002	0,002	
Absorción capilar	28	m/s ^{1/2}	1,18E-04	1,08E-04	7,21E-05	2,36E-05	Para esp rec. 30 mm ≤ 3 mm/h ^{0,5} (5E-05 m/s ^{0,5}) Amb. Severo y ≤ 6 mm (10E-04) Amb. Menos severo.
	90		9,79E-05	9,56E-06	8,68E-06	8,47E-06	



Los resultados indican que la absorción capilar a 90 días del hormigón con Penetron Admix, es 10 veces menor que en el hormigón sin Penetron Admix.

Certificados DICTUC de ensayos de absorción capilar de hormigones con y sin Penetron Admix:

Informe Dictuc N° 1161756

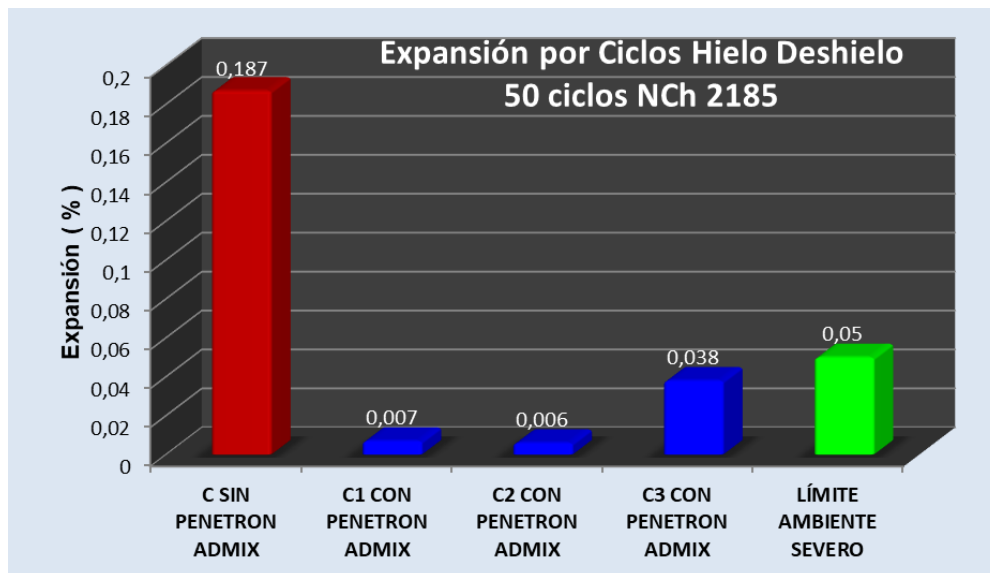
Informe Dictuc N° 1161753

Informe Dictuc N° 1161754

Informe Dictuc N° 1161755

4. Resultados de ensayos de resistencia a ciclos hielo-deshielo de muestras de hormigón con y sin Penetron Admix realizados en laboratorio DICTUC.

En estos ensayos no se utilizó hormigón con aire incorporado para verificar el efecto de Penetron Admix en el hormigón expuesto a ciclos hielo-deshielo según norma NCh2185.



Notas:

- a. Los valores indicados para cada edad de ensayo corresponden al promedio de 4 probetas 100x100x285 mm.
- b. La norma chilena NCh2182 establece como requisito una expansión máxima de 0,05% para mezclas con 5% de aire, después de 50 ciclos de hielo/deshielo.

Los resultados comprueban que los hormigones con Penetron Admix en ambiente severo tienen valores entre 10 y 20 veces menores que el hormigón sin Penetron Admix y, además, cumplen el límite de norma para este grado de exposición sin usar aire incorporado en ambos casos. Esto permite evitar la pérdida de resistencia mecánica y la sobre dosis de cemento por efecto del aire incorporado, y, además, la dispersión y pérdida de homogeneidad que genera incorporar aire al hormigón.

Certificados DICTUC de ensayos de ciclos hielo-deshielo de hormigones con y sin Penetron Admix:

Informe Dictuc N° 1161772

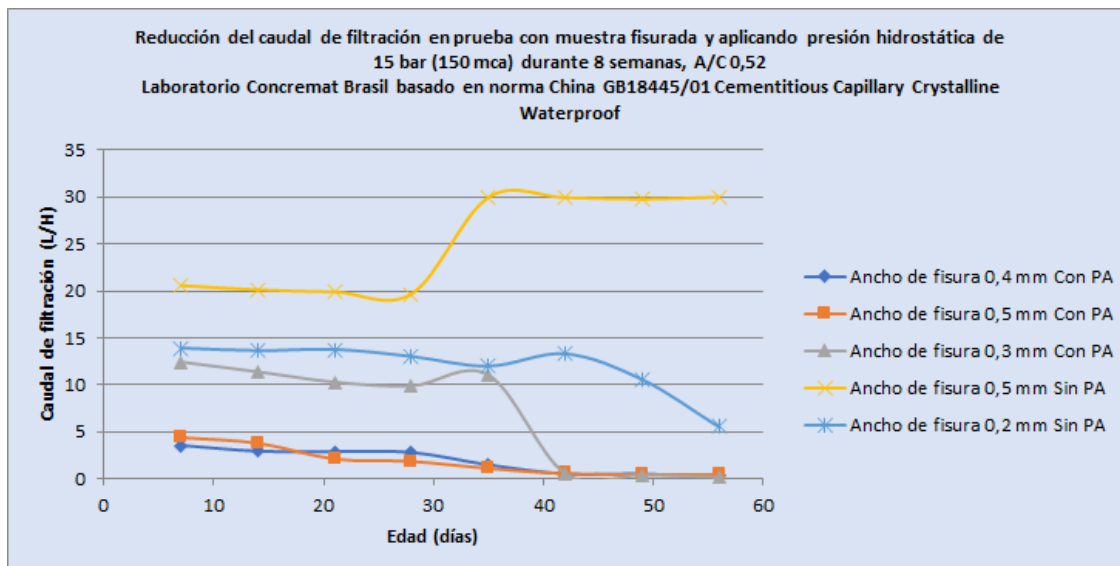
Informe Dictuc N° 1161773

Informe Dictuc N° 1161774

Informe Dictuc N° 1161775

5. Resultados de ensayos de autosellado de muestras fisuradas de hormigón con y sin Penetron Admix realizados en laboratorio DICTUC y laboratorio CONCREMAT Brasil.

En este ensayo se verifica la permeabilidad de prismas de hormigón elaborados con y sin Penetron Admix, en el que después de endurecidos, se someten a esfuerzos de tracción por flexión para generar fisuración controlada (hasta 0,5 mm de ancho) y luego se les aplica flujo continuo de agua, con el fin monitorear el tiempo que se necesita para detener este flujo de agua a través de la fisura. Por falta de equipos de laboratorio que apliquen presión hidrostática constante de 1,5 MPa durante 8 semanas, las muestras de hormigón con y sin Penetron Admix se confeccionaron en laboratorio DICTUC y luego se enviaron a Laboratorio CONCREMAT en Brasil para ensayarlas.



Los resultados obtenidos de autosellado de muestras fisuradas, luego de 8 semanas de ensayo, indican que los hormigones con Penetron Admix auto sellan sus fisuras hasta un 94% y la tendencia de las curvas indican que si continua el ensayo se alcanza el 100% de sellado. Los hormigones sin Penetron Admix en uno de los casos las fisuras se auto sellan solo hasta un 60%.

Certificados de laboratorio CONCREMAT de ensayos de autosellado con y sin Penetron Admix:

N° 143094-3

N° 143096-3

N° 143097-3

N° 143099-3 sin PA

6. Resultados de microscopía electrónica que demuestran la cristalización en el sellado de muestras de hormigón fisuradas con y sin Penetron Admix.

A los ensayos de autosellado se le realizó el estudio sobre cinco muestras de hormigón moldeadas y probadas para el auto sellado. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la formación de gel y de sustancias cristalinas secundarias (neo formadas) en la superficie de la fisura, las cuales promueven el auto sellado.

Se utilizó la norma ASTM C 856-04: Práctica estándar para el examen petrográfico del concreto endurecido. Las pruebas se realizaron en la Asociación Brasileña de Cemento Portland cuyos resultados son presentados en el Informe N° 86948.

Los resultados de la microscopía electrónica muestran que en el sellado de las fisuras efectivamente se generan los cristales y que composición química poseen.