

RESUMEN DE ESTUDIOS Y CERTIFICACIONES DE DURABILIDAD DE HORMIGONES CON PENETRON ADMIX REALIZADOS CON LABORATORIOS DICTUC E IDIEM

A) AUTOSELLADO DE FISURAS

1. Resultados de autosellado de fisuras de muestras fisuradas de hormigón con y sin Penetron Brasil, realizados con laboratorio DICTUC y laboratorio CONCREMAT.

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. En estos ensayos se utilizó la norma GB18445-2001 (Cementitious Capillary Crystalline Waterproofing Materials).

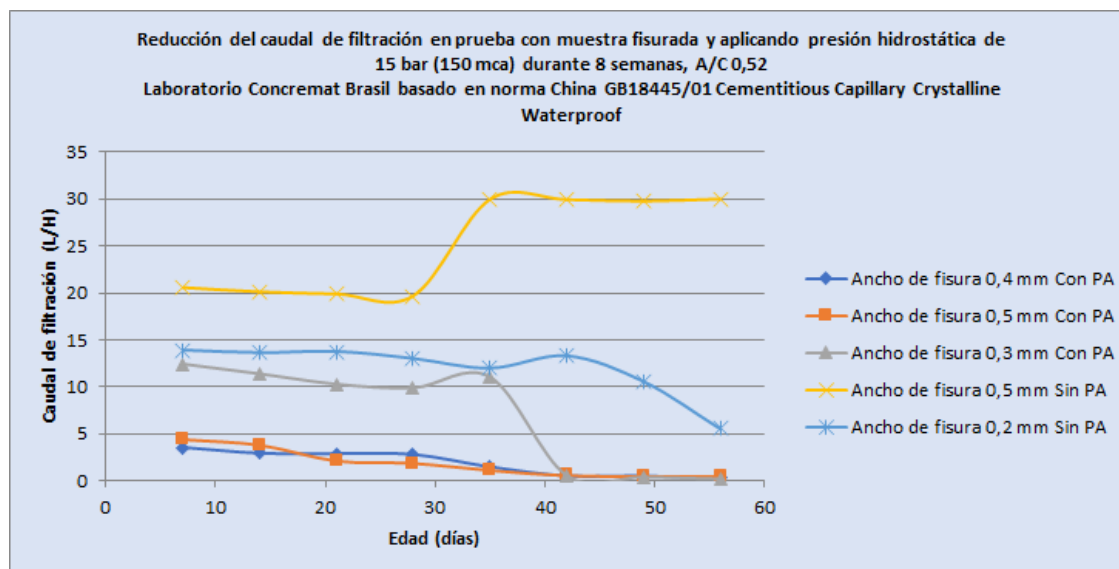


Figura 1. Gráfico de Autosellado de fisuras con distintos anchos de fisura

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:

Nº 143094-3

Nº 143096-3

Nº 143097-3

Nº 143099-3 sin PA

2. Resultados de autosellado de fisuras de muestras fisuradas de hormigón con y sin Penetron Admix, realizados con laboratorio IDEM.

En la página 47, punto 7.5.2 del estudio de IDIEM (Informe IDEM N° 729415) se describe el procedimiento del ensayo y se muestran los resultados, considerando diferentes anchos de fisura, aplicando una presión hidrostática de 3 bar.

Los siguientes resultados y gráficos muestran los valores obtenidos:

Tabla 7.7. Probetas seleccionadas para ensayo bajo presión de agua

Serie	Probeta	Espesor de fisura [mm]
H280-SP	A14	0,2
H280-CP	A24	
H280-SP	A13	0,4
H280-CP	A23	
H360-SP	B12	0,2
H360-CP	B22	
H360-SP	B13	0,3
H360-CP	B24	

Tabla 7.8. Registros en primer ensayo

Serie	Probeta	Espesor de fisura [mm]	tiempo final [min]	presión final [kPa]	agua filtrada [ml]
H280-SP	A14	0,2	120	160	710
H280-CP	A24				15
H280-SP	A13	0,4	29	100	700
H280-CP	A23				46
H360-SP	B12	0,2	17	100	700
H360-CP	B22				280
H360-SP	B13	0,3	18	100	670
H360-CP	B24				200

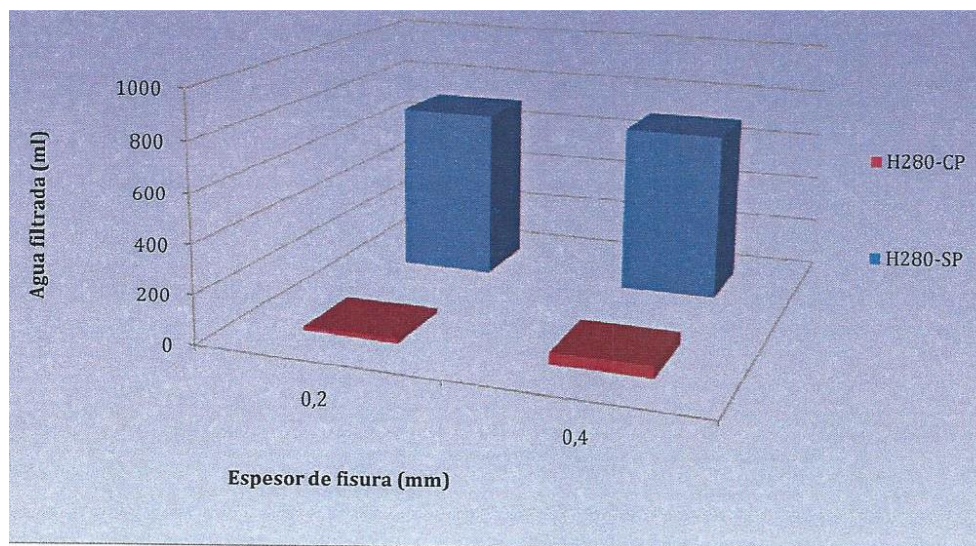


Figura 7.42. Agua filtrada en probetas de la serie H280.

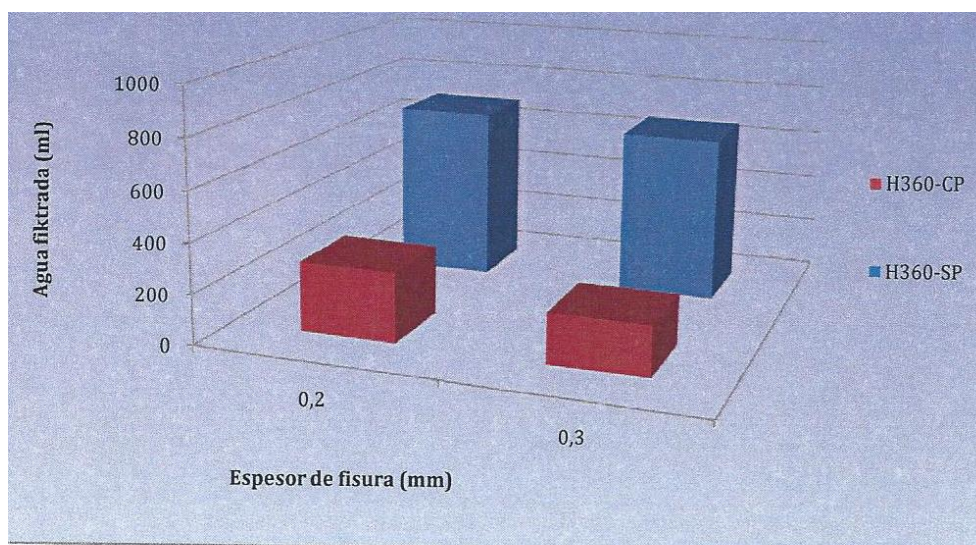


Figura 7.43. Agua filtrada en probetas de la serie H360.

Tabla 7.9. Registros en segundo ensayo

Serie	Probeta	Espesor de fisura [mm]	tiempo final [min]	presión final [kPa]	agua filtrada [ml]
H280-SP	A14	0,2	120	150	400
H280-CP	A24				0
H280-SP	A13	0,4	29	100	800
H280-CP	A23				40
H360-SP	B12	0,2	18	100	810
H360-CP	B22				100
H360-SP	B13	0,3	22	100	650
H360-CP	B24				200

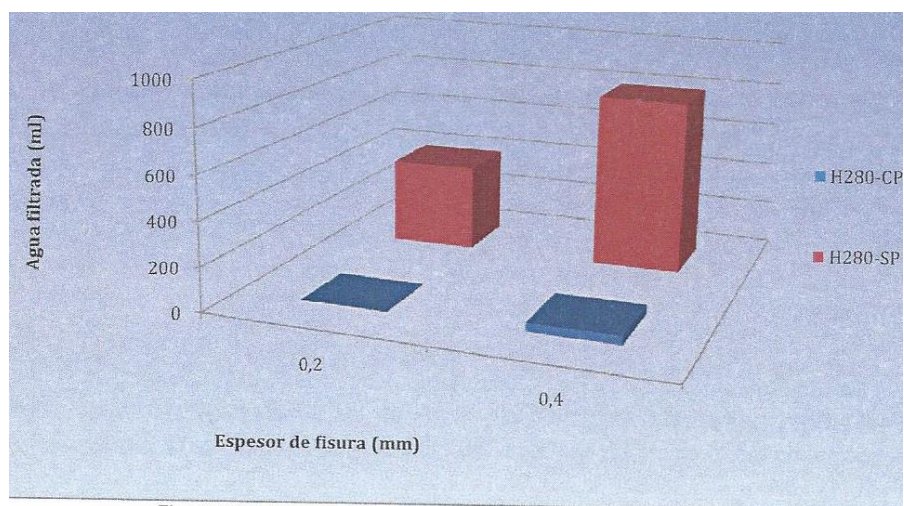


Figura 7.44. Agua filtrada en probetas de la serie H280.

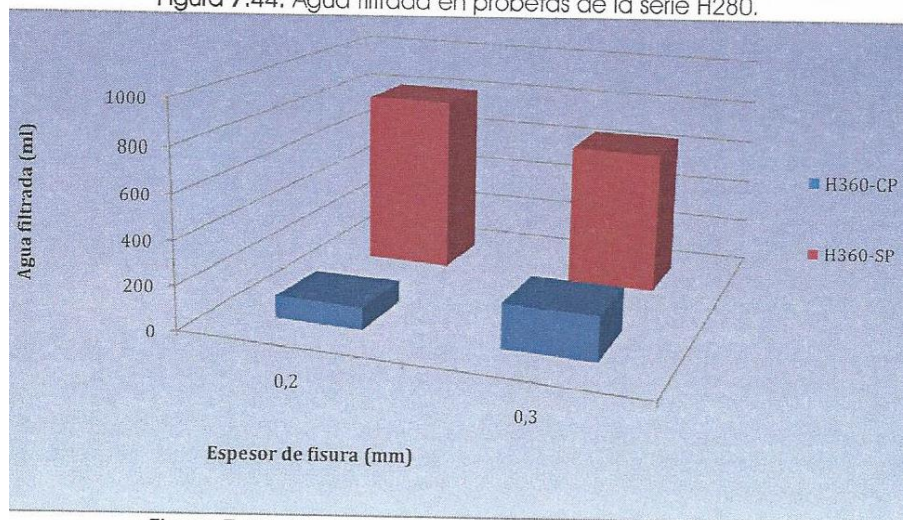


Figura 7.45. Agua filtrada en probetas de la serie H360.

En la página 50 de este estudio se indica el resumen de los resultados de autosellado obtenidos que muestran que se observa una clara diferencia entre las probetas patrón y las con adición Penetron Admix, tanto en las series H280 y H360. Las probetas sin la adición Penetron Admix de la serie H280 presentan una cantidad de agua filtrada **15 veces mayor** que en las probetas con Penetron Admix y en la serie H360 el agua filtrada es **3 veces menor** que en las probetas sin el aditivo. Los resultados muestran que, a una misma presión hidrostática, las probetas fisuradas con la adición de Penetron Admix dejan pasar una menor cantidad de agua en un tiempo determinado y, en específico, la probeta de la serie H280 tuvo “**cero**” filtración.

CONCLUSIÓNES SOBRE AUTOSELLADO DE FISURAS:

- ✓ El estudio de DICTUC y sus certificados de autosellado indica que en las muestras de hormigón con Penetron Admix, se logra un 94% de reducción de agua filtrada en 8 semanas de ensayo, con tendencia a cero filtraciones de agua, según muestras la tendencia de las curvas del gráfico de la Figura 1, respecto al hormigón patrón, en probetas fisuradas, con distintos anchos de fisuras de 0,2 a 0,5 mm y aplicando presión hidrostática de 1,5 MPa (150

metros de columna de agua). Esto demuestra claramente el autosellado de fisuras y que los cristales generados son insolubles.

- ✓ En el Informe de IDIEM, los resultados de ensayos de autosellado indican que en muestras de hormigón con Penetron Admix se obtiene una cantidad de agua filtrada 15 veces menor que en las muestras sin Penetron Admix, lo que equivale a 95% de reducción de agua filtrada en probeta con ancho de fisura 0,4 mm, aplicando una presión hidrostática de 3 bar (0,3 MPa) y en probeta con ancho de fisura 0,2 mm, se logra un 100% de reducción de agua filtrada, respecto a la probeta sin Penetron Admix, lo que confirma el autosellado el autosellado de las fisuras y que los cristales son insolubles.

B) RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DE IONES CLORUROS DE MUESTRAS DE HORMIGÓN CON Y SIN PENETRON ADMIX REALIZADOS EN LABORATORIOS DICTUC E IDIEM.

1. Ensayos y certificaciones de laboratorio DICTUC

- 1.1 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.
- 1.2 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 mayor** (16% por/L) 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

- 1.3 En el hormigón con Penetron Admix, sometido a una concentración de cloruros 4,7 veces mayor a lo normal, 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 el modelo de predicción de la segunda Ley de Fick y, considerando un recubrimiento de 6 cm, la vida útil del hormigón aumenta en 60 años. En ambiente con concentración normal de cloruros, la vida útil del hormigón superará los 120 años.
- 1.4 Mediciones de contenido de ion cloruro en las muestras expuestas a una solución de cloruros 4,7 veces mayor al del ambiente marino normal:

Tabla 2. Contenido de ion cloruro por capas

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 equivalente a un **95% de reducción** de penetración de iones cloruro, desde la superficie hasta una profundidad de ensayo de 18 mm.

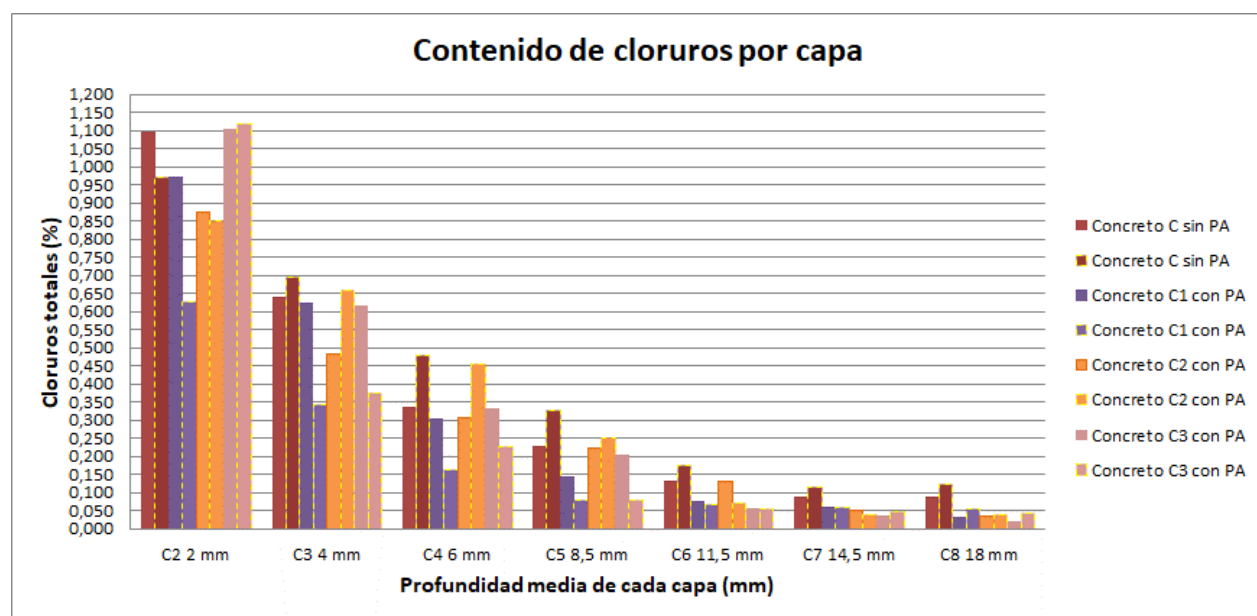


Figura 2. Gráfico de contenido de cloruros a diferentes profundidades de la muestra.

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. Ensayos y certificaciones de laboratorio IDIEM sobre penetración de iones cloruro.

Se realizaron ensayos de penetración de iones cloruros a muestras de hormigón con y sin Penetron Admix (Informe IDIEM N° 729415, página 35, punto 7.4.1). Los ensayos se realizaron según la norma ASTM C1202 a las series de hormigón H280 y H360, hasta una edad de 180 días.

Los resultados obtenidos fueron:

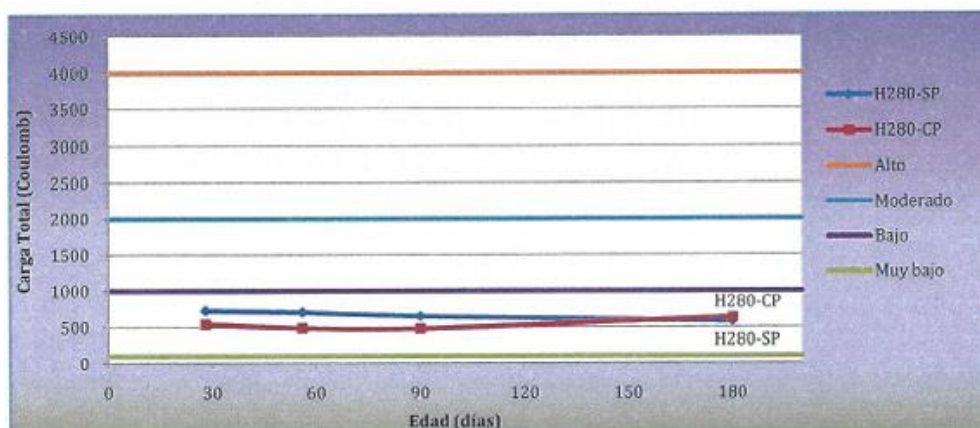


Figura 7.27. Resultados promedio del ensayo de penetración de cloruros, serie H280. Se muestran los límites de clasificación según norma ASTM C1202.

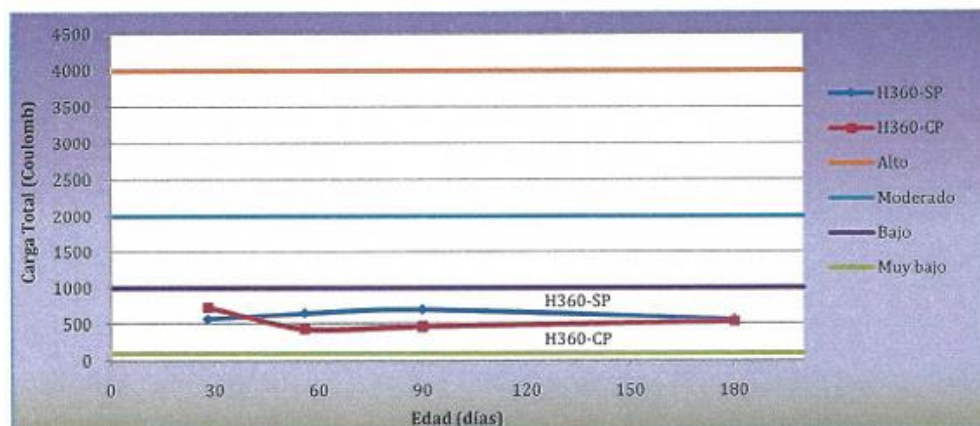


Figura 7.28. Resultados promedio del ensayo de penetración de cloruros, serie H360. Se muestran los límites de clasificación según norma ASTM C1202.

Tabla 7.6. Tabla clasificación de la penetración de cloruros en el hormigón, según ASTM C1202.

Carga Pasante (Coulombs)	Penetración de Ión Cloruro
> 4000	Alto
2000-4000	Moderado
1000-2000	Bajo
100-1000	Muy Bajo
< 100	Insignificante

Para las series H280 y H360 con Penetron Admix, se obtuvieron valores la penetración de iones cloruro de **500 Coulomb**, equivalente al rango **MUY BAJO** según la tabla de la norma ASTM C1202, menor a **1000 Coulomb** exigido en la especificación técnica del proyecto.

C) RESISTENCIA A LOS SULFATOS DE MUESTRAS DE HORMIGÓN Y MORTERO CON Y SIN PENETRON ADMIX, REALIZADOS EN LABORATORIO DICTUC E IDIEM.

1. Ensayos y certificaciones de laboratorio DICTUC

1.1 Las probetas obtenidas de cada muestra 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 de Fig. 3 y de mortero Fig. 4, obtenidos fueron:

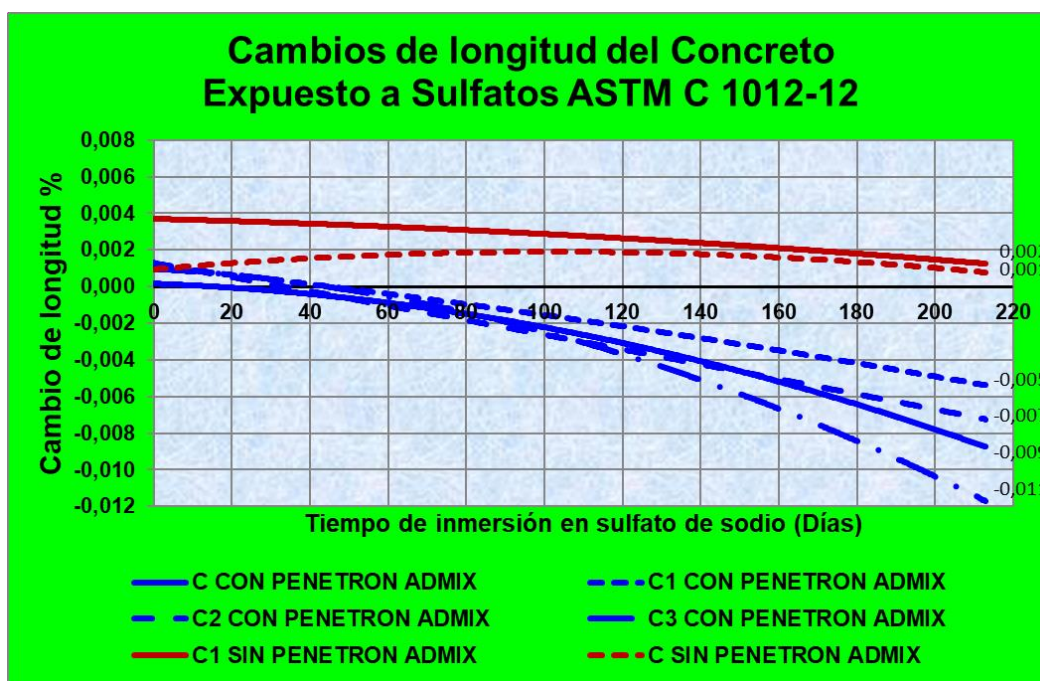


Figura 3. Gráfico de cambios de longitud de muestras de hormigón con y sin Penetron Admix

Las muestras de hormigón con Penetron Admix **no fue afectadas 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**.

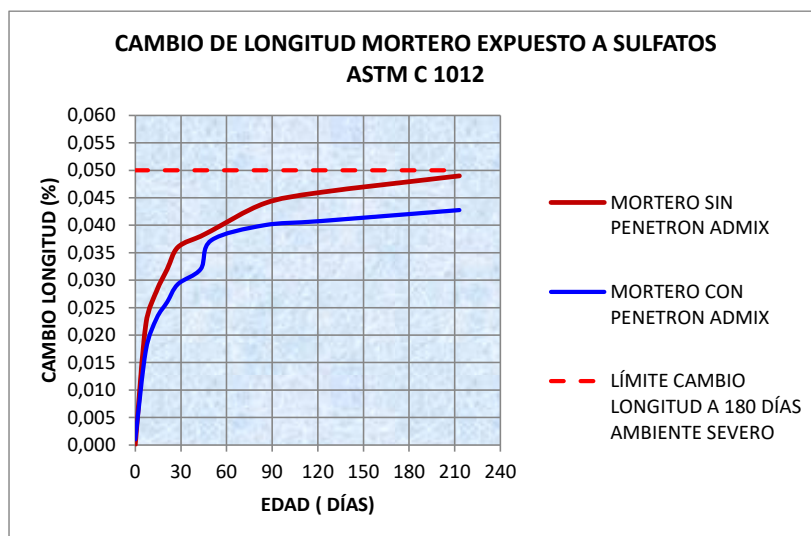


Figura 4. Gráfico de cambios de longitud en mortero extraído de muestras de hormigón con Penetron Admix.

Los valores de los ensayos según norma ASTM C1012, se comparan con los límites establecidos en la norma ASTM C1157 de acuerdo con la **Tabla 3**.

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

Tabla 3. Límites de cambios de longitud para morteros según norma ASMT C1012

La tendencia de los valores de cambios de longitud del mortero tratado con Penetron Admix, hasta una edad de más de 200 días, es inferior que el límite 0,05% establecido por la norma ASTM C1157 para la categoría alta resistencia a los sulfatos . Por el contrario, el mortero sin Penetron Admix, muestra una tendencia de la curva con mayor pendiente que traspasará el límite de 0,05 % 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

2. Ensayos y certificaciones de laboratorio IDIEM de resistencia a los sulfatos

Se elaboraron morteros con y sin Penetron Admix, según norma ASTM C1012 y se curaron en una solución de Na_2SO_4 y se midieron cambios de longitud hasta 180 días (Informe 729415, página 38, punto 7.4.3).

Los resultados se muestran en la siguiente figura:

7.4.3.1 Resultados de ensayo de ataque por sulfatos externos

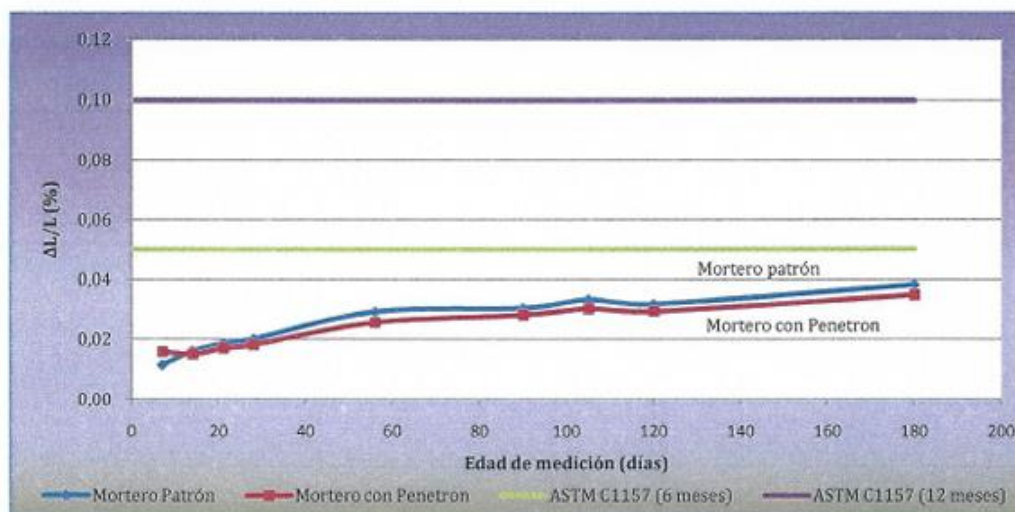


Figura 7.34. Resultados de ensayo según ASTM C1012, ataque de sulfatos externos. Se muestran los límites de la ASTM C1157, para un cemento de alta resistencia a los sulfatos.

Los resultados de cambios de longitud muestran que los morteros con Penetron Admix son menores el límite establecido por la norma ASTM C1157 para 180 días, considerándose como altamente resistente a los sulfatos.

D) RESULTADOS DE ENSAYOS DE ABSORCIÓN CAPILAR DE MUESTRAS DE HORMIGÓN CON Y SIN PENETRON ADMIX REALIZADOS EN LABORATORIO DICTUC E IDIEM.

1. Ensayos y certificaciones de absorción capilar de laboratorio DICTUC

Las muestras de hormigón con y sin Penetron Admix fueron ensayadas según la norma ASTM C1585 y los resultados se muestran en la Tabla 4 y Figura

	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	

Tabla 4. Absorción capilar a 90 días de muestras con y sin Penetron Admix

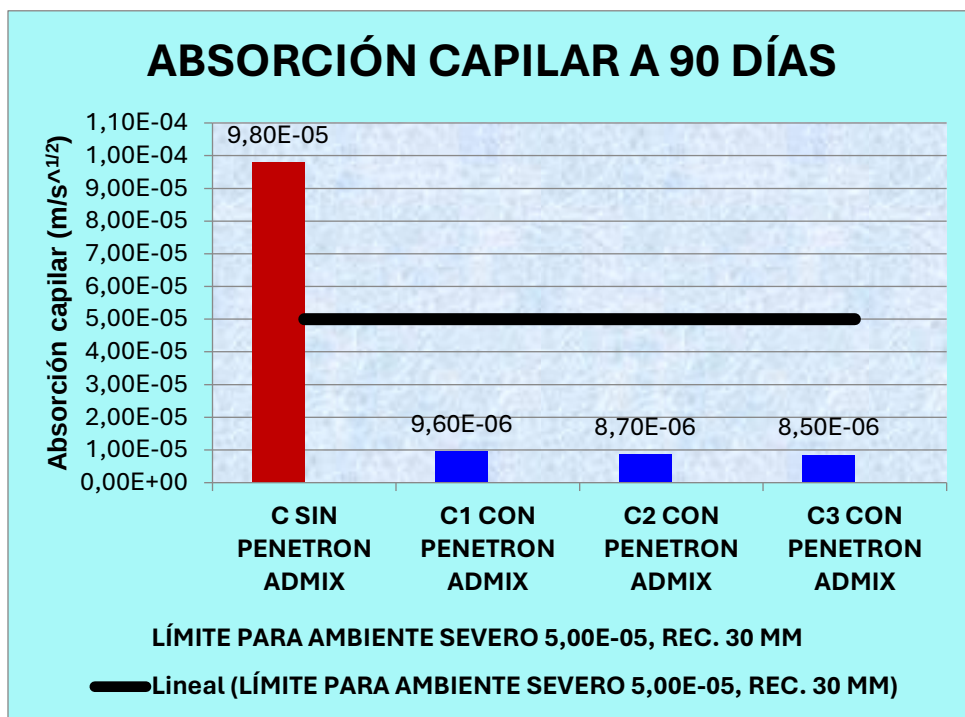


Figura 5. Absorción capilar a 90 días

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 **y confirma el sellado de capilares y vacíos del hormigón.**

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

2. Ensayos y certificaciones de absorción capilar de laboratorio IDIEM

Se realizaron ensayos de medición de la tasa de absorción capilar a muestras de hormigón, series H280 y H360, con y sin Penetron Admix, que se indican en Informe IDIEM N° 729415, página 24, punto 7.2.1.1.

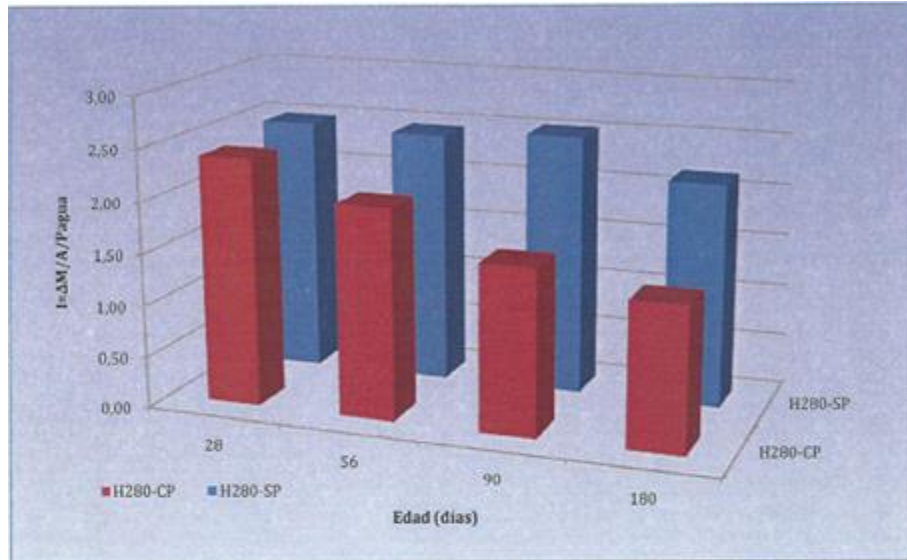


Figura 7.9. Resultados finales del ensayo de absorción capilar, hormigones serie H280.

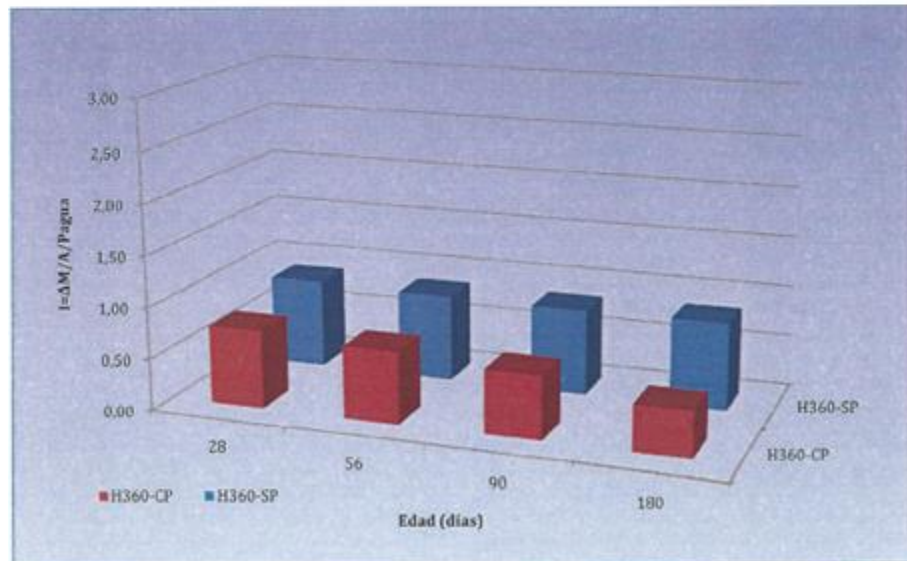


Figura 7.10. Resultados finales del ensayo de absorción capilar, hormigones serie H360.

Los hormigones con Penetron Admix muestran, se observa una progresiva disminución de la absorción capilar de 50% a la edad de 180 días, respecto a los valores a 28 días y al hormigón patrón. La progresiva disminución de la absorción capilar señala que la acción del aditivo se mantiene activa mientras existe humedad presente y que Penetron Admix provoca un sellado y de las porosidades y micro fisuras, lo que no ocurre con las probetas de hormigón sin Penetron Admix.

3. Comportamiento del índice de vacíos permeables

Se ensayaron muestras de hormigón con y sin Penetron Admix según la norma ASTM C642, que determina el porcentaje del índice de vacíos y que tiene directa relación con el sellado de vacíos capilares del hormigón. (Informe IDIEM N° 729415, página 26, punto 7.2.2)

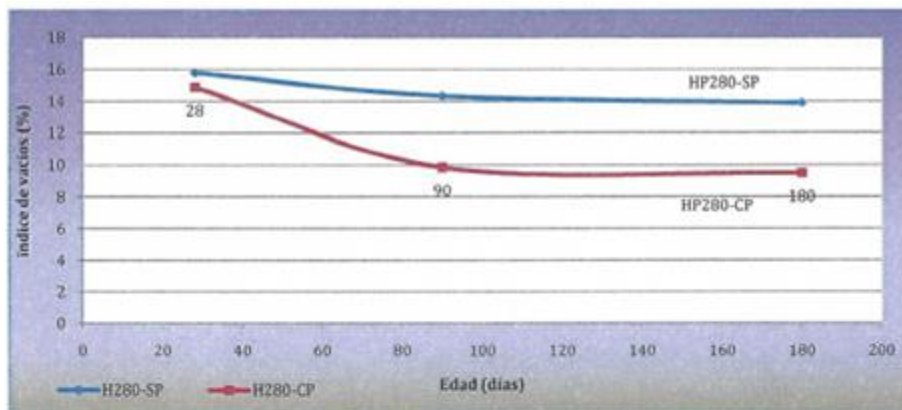


Figura 7.12. Resultados de la determinación de índice de vacíos, hormigones serie H280.

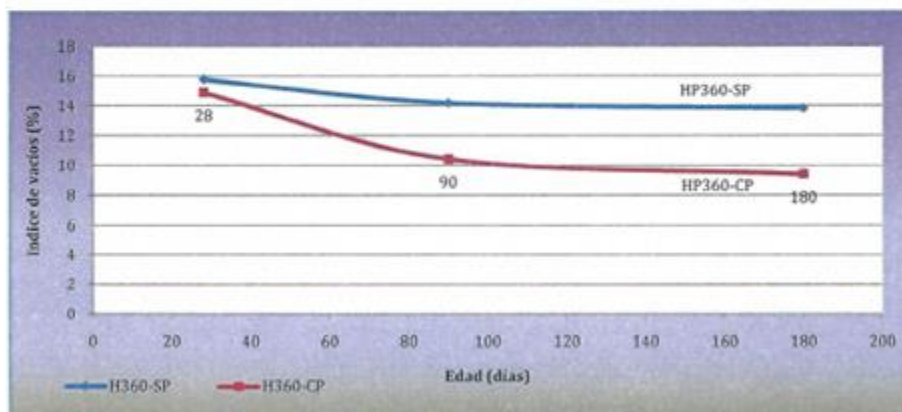


Figura 7.13. Resultados de la determinación de índice de vacíos, hormigones serie H360.

Se observa en los hormigones con Penetron Admix una disminución del índice de vacíos permeables de 30% a la edad de 180 días, con respecto a los hormigones sin Penetron Admix, lo que demuestra que esta disminución es totalmente concordante con la baja absorción capilar del hormigón con el aditivo.

E) RESULTADOS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA QUE DEMUESTRAN LA CRISTALIZACIÓN EN EL SELLADO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN FISURADAS CON Y SIN PENETRON ADMIX.

1. Microscopía electrónica realizada por laboratorio de CONCREMAT de Brasil (Informe N° 01).
2. A las muestras que se les hizo ensayo 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.

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



Domingo Lema C.

Ing. Civil

Gerente General

PENETRON CHILE SpA