

Durabilidad de Estructuras Portuarias de Hormigón Armado en Chile. Análisis de Tipos de Protección Superficial

Autores: **A. María Carvajal¹, Felipe Lambert C.²**

1. Profesora Adjunta. Escuela de Construcción Civil, Pontificia Universidad Católica de Chile
Máster en Perspectivas de la Construcción y sus Materiales en el siglo XXI

2. Constructor Civil, Licenciado en Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile

emails: acarvajg@uc.cl, flambert@uc.cl

Fecha de recepción : 15/03/06

Fecha de aceptación : 08/05/06

Durability of reinforced concrete of port structures in Chile. Analysis of different types of protective paints

Resumen

Debido a que la composición de la capa superficial del hormigón es diferente a la del interior, el contenido en pasta de cemento aumenta hacia la superficie. Esta superficie está formada por una película de pasta de cemento, que no tiene áridos y dependiendo de las influencias externas, puede ser erosionada. Si la composición del hormigón no es la adecuada para resistir las influencias exteriores y preocupa un deterioro posterior debido a condiciones ambientales ya existentes, es necesario tomar medidas para minimizar o detener este proceso, una de ellas es proteger la superficie con recubrimientos que permitan una vida útil similar a la proyectada.

En esta investigación se analizaron tres tipos de protección superficial, para lo cual se elaboraron probetas de hormigón a las cuales se les aplicó recubrimiento según las indicaciones de los fabricantes. Posteriormente, fueron colocadas en cámara de penetración acelerada de cloruros y sulfatos, para emular el ambiente marino en tiempo reducido.

Los resultados obtenidos demostraron que el recubrimiento a base de poliuretano es el de mejor comportamiento frente al ataque de iones sulfato y cloruro, a diferencia de los de base cementicia y acrílica.

Palabras clave: durabilidad, hormigón armado, recubrimientos protectores.

Abstract

The composition of the superficial layer of the concrete is different in the interior, because the content of cement paste increases towards the surface. This surface is formed by a cement paste film without arids and depending on the external influences, can be destroyed.

If the composition of the concrete is not the adequate to resist the outer influences, and worries a later deterioration due to environmental or existing conditions, it is necessary to take precautions to diminish or to stop this process; one of them is to protect the surface with coverings that allow a life similar to the projected one.

In this research three types of superficial protection were analyzed, for which concrete specimens were elaborated and different types of covering were applied to them according to manufacturer indications. Later, they were placed in an accelerated system of chlorides and sulphate penetration, to emulate the marine atmosphere in reduced time.

This paper shows that the polyurethane painting has better behavior in front of sulphate and chloride ions attack, unlike those of cementicia and acrylic base.

Key words: durability, reinforced concrete, protective paints.

1. INTRODUCCIÓN

El ambiente marino constituye la más severa prueba a la durabilidad del hormigón armado, dada la variedad de compuestos químicos, humedad y temperatura que se produce en la costa.

Existen técnicas de prevención de la corrosión de estructuras marinas, como la aplicación estricta y rigurosa de recubrimientos superficiales de distinto tipo de resinas o soluciones asfálticas, las que contribuirían a brindar una protección ante el ataque de sulfatos y cloruros. También es utilizada la protección catódica, que preserva eléctricamente la estructura y permite aumentar la vida útil sin que se altere su estabilidad estructural.

La resistencia del hormigón al ataque químico no solo depende de la resistencia del hormigón, sino que también de su compacidad y lógicamente de la impermeabilidad que pueda lograrse.

El primer factor depende del tipo de cemento (fundamentalmente la composición mineralógica del clinker y de la proporción de la relación a/c entre otros), y el segundo, la compacidad, depende principalmente de un correcto diseño, elaboración, ejecución, colocación, compactación y curado.

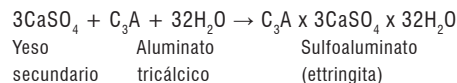
La agresividad del agua de mar debe necesariamente dividirse en dos: una producida por la degradación del hormigón debido a la acción de las sales agresivas y otra por los procesos de corrosión de las armaduras, facilitados por la elevada humedad ambiental y fundamentalmente por el aporte de iones cloruro.

Según investigadores (Calavera, 1996; Tebar, 1991), la degradación del hormigón causada por agentes agresivos marinos puede tener las siguientes formas de manifestación:

- Deterioro por “deslavado” o lixiviación, esto es, por la disolución de la cal liberada por la hidratación del cemento y por la hidrólisis de los silicatos más ricos en calcio.
- Procesos de degradación por la formación de productos fácilmente solubles mediante intercambios entre componentes del cemento y las sales magnésicas del agua de mar.
- Degradación por la formación de componentes expansivos que pueden formarse por reacción de algunos componentes del cemento hidratado (aluminatos cálcicos) con los sulfatos del agua de mar.

Es conveniente considerar el efecto de la presencia de iones cloruro con la de sulfatos. Los iones cloruro inhiben o atenúan en cierta medida la acción de los sulfatos, ya que son capaces de reaccionar con los aluminatos cálcicos del cemento, dando lugar a cloroaluminatos de calcio hidratado (más conocido como sal de Friedel), que no es expansivo, o no lo es en la misma medida que la ettringita (producto de la acción de los sulfatos + C_3A). Por lo tanto el aluminato que reacciona con los iones cloruro queda bloqueado por la formación de la sal de Friedel, e impedido para formar ettringita, mucho más expansiva, con lo cual la potencialidad de la expansión queda muy reducida.

El yeso secundario puede evolucionar si no existen cloruros en el medio, reaccionando con el C_3A del cemento.



Si la cantidad de aluminato tricálcico del clinker y el grado de saturación es elevada, los cloruros existentes en el agua de mar no pueden evitar la formación de ettringita.

En la Figura N° 1 (Emmons, 1994) se observa el efecto que produce la formación de la ettringita en el hormigón armado.

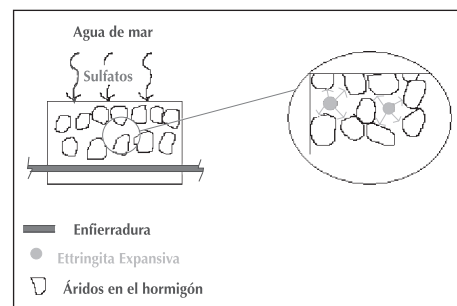


Figura N° 1: Efecto de la ettringita en el hormigón sometido al agua de mar

Una vez que los sulfatos han penetrado en el hormigón, comienzan a crearse tensiones internas, las cuales terminan rompiendo el recubrimiento de la estructura y dejando al descubierto las armaduras.

Por tanto, es recomendable el uso de cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico, del orden del 8% como máximo (Dirección de Obras Portuarias del MOP) para hormigones marinos.

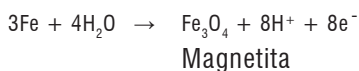
Es importante destacar que también los factores físicos, especialmente la homogeneidad, la compacidad e impermeabi-

lidad del hormigón influyen acelerando o frenando en el tiempo la marcha de los fenómenos de la corrosión, tanto o más que la resistencia del cemento a los agentes agresivos.

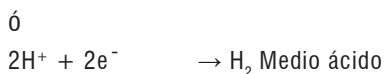
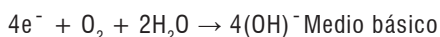
La corrosión del acero

La corrosión de las armaduras es la alteración destructiva de un metal por reacción con el medio ambiente. Desde el punto de vista químico ocurre lo siguiente:

Reacción anódica:



Reacción catódica:



Las reacciones mostradas se pueden visualizar en el siguiente esquema simplificado del proceso de corrosión del acero en presencia de cloruros, propuesto por CEB – FIP (1992).

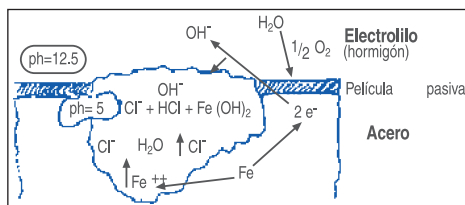


Figura N° 2: Proceso de corrosión del acero en presencia de iones cloruro

Proceso de corrosión en ambiente marino

La acción galvánica, origen de la corrosión, se establece entre regiones de diferente grado de concentración de sal, formándose ánodos y cátodos que originarán, de acuerdo a su concentración, una corrosión más o menos acelerada, siguiendo los siguientes pasos:

- Las diferencias en el grado de concentración de la sal, provienen de las diferencias en el monto de las salpicaduras en el área expuesta y las diferencias de permeabilidad de los distintos sectores del hormigón.
- La sal penetra en el hormigón, por depósito, difusión y/o absorción capilar en el sector de la amplitud de mareas (el más crítico).
- Luego, el proceso pasa por dos etapas: a) el ión cloruro tiende a reducir al valor del pH en las inmediaciones de la armadura y; b) los iones cloruro disueltos en diferentes grados de concentración en el agua libre contenida en el hormigón, establece pilas galvánicas. Cuando el pH es reducido a valores inferiores a 10, la corrosión comienza (Perkins, 1997). A estos valores de pH, el sulfato de magnesio tiende a formar ettringita, que genera presiones internas en el hormigón y que acaba rompiendo el recubrimiento.

- Una vez establecidas estas pilas galvánicas, es casi imposible detener la acción galvánica completamente, ya que los ánodos y cátodos pueden establecer y cerrar circuitos, desplazándose, según sean realizadas las reparaciones o recubrimientos del hormigón deteriorado.

En la Tabla N° 1 se muestran los resultados comparativos del estudio realizado por Fernández Cánovas (1994), del sistema duplo (hidrófugo más revestimiento) aplicado sobre un hormigón de 28 días, en relación con otros tratamientos de superficie, y frente a la absorción de agua y permeabilidad a los iones cloruro.

Sistemas de pinturas de protección	Absorción de agua después de 7 días de pintado (%)	Permeabilidad a los cloruros después de 30 días (x 10 ppm)
Hormigón de control	9,5	5,5
Acrílico	9,5	1,5
Clorocaucho	6,5	1,0
Silicona	9,3	0,3
Silano	2,1	0,1
Acrílico (TOP coat)	9,5	2,0
Silano-siloxano/acrílico	2,2	0,1

Tabla N° 1: Resultados comparativos de investigaciones anteriores

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Comparar los métodos superficiales de protección contra la corrosión para estructuras portuarias de hormigón armado y recomendar el más adecuado según los resultados de la presente investigación.

Objetivos específicos

1. Aplicar recubrimientos superficiales de distinto tipo a probetas de hormigón que estarán en ambiente marino artificial en el laboratorio.
2. Evaluar el comportamiento de los recubrimientos superficiales investigados, frente a la acción acelerada de una disolución concentrada de iones cloruro y sulfato.
3. Proponer la mejor opción que permita aumentar la vida útil de estas estructuras portuarias.
4. El tiempo límite de exposición en cámara acelerada de penetración de iones cloruro y sulfato fue de cuatro semanas.
5. Para el diseño de las probetas se consideraron los siguientes parámetros:
 - H-30, 90% confianza y descenso de cono 7 cm
 - Razón a/c: 0,45 y 0,55
 - Dosis de cemento: 425 kg/m³ de hormigón
 - Tamaño máximo del árido: 40 mm
 - Curado de 28 días
 - Cemento portland puzolánico
6. Una vez elaboradas estas probetas, se dejaron curar por 28 días en cámara húmeda en el Laboratorio de la Dirección de Extensión en Construcción DECON de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
7. Posteriormente las probetas se colocaron en cámara de penetración acelerada con una disolución acuosa de 250 g/l de cloruro de sodio y 25 g/l de sulfato de magnesio.

- 3) Enseguida se mide la penetración de iones cloruro.

Materiales	Unidad	Cantidad
Cemento	kg	425
Gravilla	kg	763
Grava	kg	661
Arena	kg	677
Aire	l	10
Agua	l	234

Tabla N° 2: Dosificación por m³ de hormigón con razón a/c 0,55

Materiales	Unidad	Cantidad
Cemento	kg	425
Gravilla	kg	805
Grava	kg	698
Arena	kg	736
Aire	l	10
Agua	l	191

Tabla N° 3: Dosificación por m³ de hormigón con razón a/c 0,45

3. METODOLOGÍA

1. Se confeccionaron probetas cúbicas de hormigón de 15 cm de arista, para aplicarles revestimientos recomendados por fabricantes y así evaluar su efectividad contra el ataque de aguas agresivas, como es el agua de mar. Además, se fabricaron probetas con una razón a/c de 0,55 (razón no recomendada para este tipo de ambiente), para comparar los resultados del ensayo acelerado de penetración de agresivos en dos tipos de hormigón.
2. Los tres tipos de recubrimiento son del tipo:
 - Cementicio
 - Acrílico
 - Poliuretano
3. Se prepararon probetas sin recubrimiento superficial como patrón de comparación.
4. El tiempo límite de exposición en cámara acelerada de penetración de iones cloruro y sulfato fue de cuatro semanas.
5. Para el diseño de las probetas se consideraron los siguientes parámetros:
 - H-30, 90% confianza y descenso de cono 7 cm
 - Razón a/c: 0,45 y 0,55
 - Dosis de cemento: 425 kg/m³ de hormigón
 - Tamaño máximo del árido: 40 mm
 - Curado de 28 días
 - Cemento portland puzolánico
6. Una vez elaboradas estas probetas, se dejaron curar por 28 días en cámara húmeda en el Laboratorio de la Dirección de Extensión en Construcción DECON de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
7. Posteriormente las probetas se colocaron en cámara de penetración acelerada con una disolución acuosa de 250 g/l de cloruro de sodio y 25 g/l de sulfato de magnesio.
- 1) Se colocaron las probetas de tal forma que 7 cm están en contacto con la disolución, quedando fuera 8 cm.
- 2) La presencia de iones cloruros se determinó mediante análisis cualitativo, aplicando sobre la superficie interior de la probeta cortada, una disolución de nitrato de plata (AgNO₃) y cromato de potasio (K₂CrO₄), observando los cambios en la coloración (Mautzsch, 1998).

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el correcto desarrollo del proceso experimental, se dejaron curar las probetas por 28 días en una cámara húmeda, donde se mantuvieron a humedad y temperatura controlada, posteriormente se realizaron pruebas de compresión a las probetas patrón. Los resultados se muestran en las Tablas N° 4, N° 5 y N° 6.

Es importante mencionar que la resistencia a compresión de probetas con razón a/c 0,55 no cumplió con lo especificado, pero dado el enfoque del estudio, que pretendió investigar la efectividad de los recubrimientos superficiales y no del hormigón en sí, se decidió

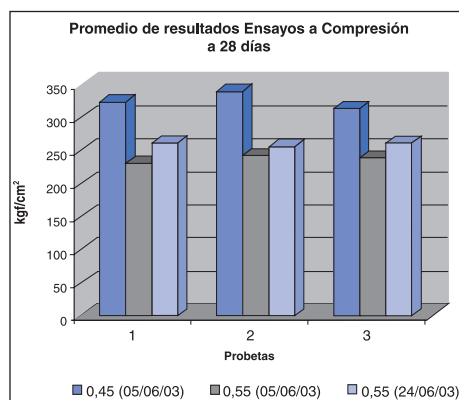


Gráfico N° 1: Resultados de ensayos de resistencia a compresión

utilizar las probetas con esta razón a/c, aunque no cumplieran con la resistencia especificada. Con esta misma razón a/c hay dos amasadas distintas.

Los recubrimientos que se utilizaron pertenecen a la familia de recubrimientos

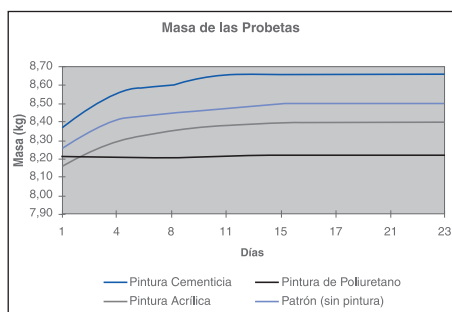


Gráfico N° 2: Variación de masa de las probetas

cementicios, acrílicos y de poliuretano, cada uno con distintas características de aplicabilidad y de requerimientos de curado.

Se determinó la variación de masa de las probetas con el fin de determinar el efecto

impermeable de los recubrimientos, obteniéndose los resultados que se resumen en el Gráfico N° 2.

Las probetas presentaron un aumento significativo de masa, a excepción de las probetas con pintura de poliuretano que se mantuvieron invariables, lo que evidencia la impenetrabilidad de agua al interior del hormigón.

Una vez que las probetas fueron cortadas por la mitad, se pudo observar la penetración de los iones cloruro, dependiendo del tipo de recubrimiento y razón a/c. (Figuras N° 3 y N° 4).



Figura N° 3:
Corte de probetas



Figura N° 4:
Probeta con cloruro

Probeta N°	Razón a/c	Edad Días	Masa kg	Carga ton	A cm	Resistencia kgf/cm²
1	0,45	28	8,2	74,4	15,1	324
2	0,45	28	8,2	77,8	15,0	339
3	0,45	28	8,2	71,8	15,1	313
Media			8,2		15,06	325

Tabla N° 4: Ensayo 1. Probetas con razón a/c 0,45

Probeta N°	Razón a/c	Edad Días	Masa kg	Carga ton	Arista cm	Resistencia kgf/cm²
4	0,55	28	8,1	53,1	15,1	231
5	0,55	28	8,2	55,5	15,2	242
6	0,55	28	8,1	54,8	15,1	239
Media			8,13		15,13	237

Tabla N° 5: Ensayo 2. Probetas con razón a/c 0,55

Probeta N°	Razón a/c	Edad Días	Masa kg	Carga ton	Arista cm	Resistencia kgf/cm²
7	0,55	28	8,20	60,1	15,1	261
8	0,55	28	8,20	58,7	15,0	256
9	0,55	28	8,20	59,7	15,1	260
Media			8,20		15,06	259

Tabla N° 6: Ensayo 3. Probetas con razón a/c 0,55

Para los recubrimientos de poliuretano se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla N° 7 al momento de cortar:

Es interesante observar que no existió penetración de cloruro en las probetas de poliuretano, salvo una; esta se sometió a una observación más detallada y se pudo determinar que en su parte inferior existía una deficiencia en la aplicación de la pintura, por la cual penetró la solución salina (Figura N° 5).

La probeta con pintura de poliuretano que presentó penetración de iones cloruro se puede observar en la Figura N° 6.

Probetas N°	Penetración Máxima (cm)	Espesor Pintura (mm)
100	0,00	0,8
110	0,00	1
120	0,00	0,8
130	0,00	0,5
140	0,00	0,6
150	0,00	0,9
160	2,00	0,8
170	0,00	0,8
180	0,00	0,7
190	0,00	0,7
Media	0,20	0,75
Desviación estándar	0,63	0,16

Tabla N° 7: Probetas con recubrimiento de poliuretano

(Datos obtenidos al momento de sacar las probetas de la solución salina)

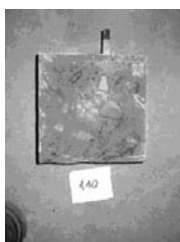


Figura N° 5: Probeta con recubrimiento de poliuretano sin presencia de iones cloruro

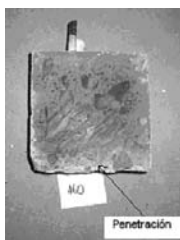
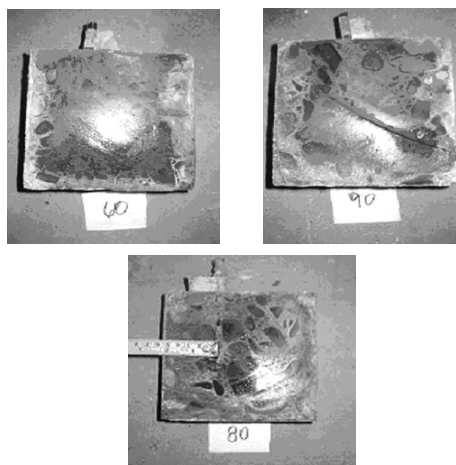


Figura N° 6: Probeta con recubrimiento de poliuretano con defecto en el pintado

Las probetas con pintura cementicia presentaron la mayor penetración promedio, como se puede observar en la Tabla N° 8.



Figuras N° 7, N° 8 y N° 9: Probetas con recubrimiento cementicio

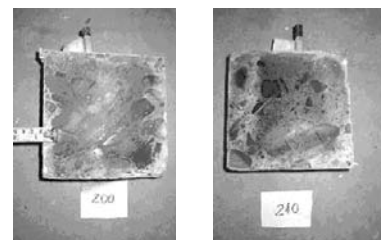
Las probetas con recubrimiento cementicio presentaron penetraciones de hasta 8 cm (por un lado).

En lo que respecta a las probetas con pintura acrílica, estas presentaron una penetración promedio, al momento de cortarlas, de 3,5 cm, como se puede apreciar en la Tabla N° 9.

Las probetas patrón (sin recubrimiento) presentaron valores altos de penetración de iones cloruro, como era de esperar, pero estos valores fueron en promedio

Probetas N°	Penetración Máxima (cm)	Espesor Pintura (mm)
30	2,50	1,7
40	6,00	1,8
50	4,00	0,9
60	2,50	0,8
70	8,00	1
80	6,00	1,5
90	3,50	1,5
Media	4,64	1,20
Desviación estándar	2,08	0,43

Tabla N° 8: Probetas con pintura cementicia



Figuras N° 10 y N° 11: Probetas con recubrimiento acrílico

menores a las probetas con pintura cementicia. Se puede apreciar en la Tabla N° 10.

Estas probetas presentaron en promedio menor penetración que las probetas con pintura cementicia.

La información adicional que se puede obtener de las probetas cortadas, es el lugar en donde estas probetas presentan mayor penetración de iones cloruro. Como se puede observar en las Figuras N° 14, N° 15 y N° 16, el lugar donde se produjo esta mayor penetración de cloruro fue aproximadamente a los 8 ó 9 cm de alto de la probeta.

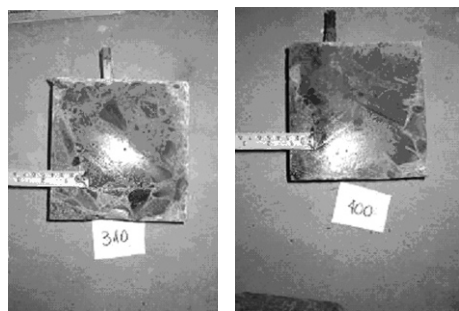
Estas fotos comprueban el hecho de que la zona con mayor peligro de corrosión es

Probetas N°	Penetración Máxima (cm.)	Espesor Pintura (mm.)
200	2,50	0,5
210	5,00	0,8
220	3,50	0,8
230	2,00	0,9
240	3,00	0,6
250	5,00	0,8
260	3,50	0,6
Media	3,50	0,72
Desviación estándar	1,15	0,16

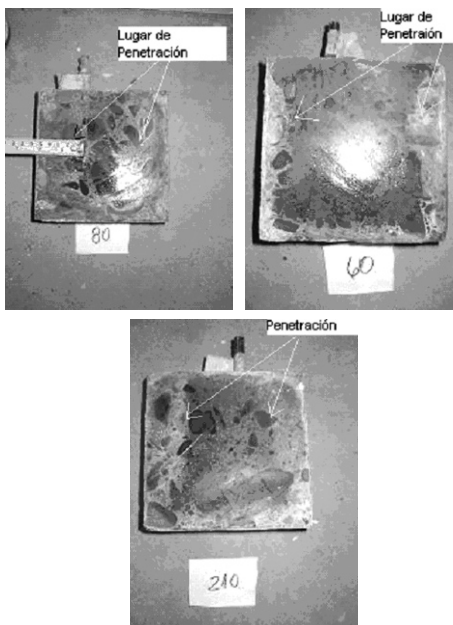
Tabla N° 9: Probetas con recubrimiento acrílico

Probetas Nº	Penetración Máxima (cm)
300	6,00
310	4,00
320	4,50
330	4,00
340	6,00
350	5,00
360	5,00
370	2,50
380	6,00
390	3,00
400	3,50
410	3,50
420	4,50
430	2,50
440	4,00
450	4,00
460	3,00
470	2,50
480	4,00
490	4,00
500	3,00
510	7,00
Media	4,16
Desviación estándar	1,26

Tabla N° 10: Probetas patrón (sin recubrimiento)



Figuras N° 12 y N° 13: Sin recubrimiento



Figuras N° 14, N° 15 y N° 16: Lugar de penetración de iones cloruros

la zona de "Splash", donde existe un ciclo de humectación y secado. Es importante recordar que las probetas estaban sumergidas a una profundidad de 6 a 7 cm.

Al realizar un análisis a la variación de las masas de las probetas en el tiempo y aplicando la fórmula:

$$\Delta m = V_{Cl} * \sqrt{t}$$

Donde:

Δm Variación de la masa en kg con respecto a la masa inicial de la probeta en $t = 0$

V_{Cl} Velocidad de aumento de masa con respecto al tiempo en (kg/días)

t Tiempo expresado en días

$\Delta m = V_{Cl} * \sqrt{t}$ despejando la velocidad;

$$V_{Cl} = \Delta m / t^{1/2} \text{ (kg/días)}$$

La pintura cementicia presenta una mayor velocidad de penetración promedio de 0,07 kg/día, el cual se puede contrastar con los 0,05 kg/día que presentan las probetas con pintura acrílica y las probetas patrón. Dado que las probetas con pintura de poliuretano no presentaron variación de masa, estas no presentaron velocidad de penetración.

El comportamiento de los revestimientos se resume en el siguiente Gráfico:

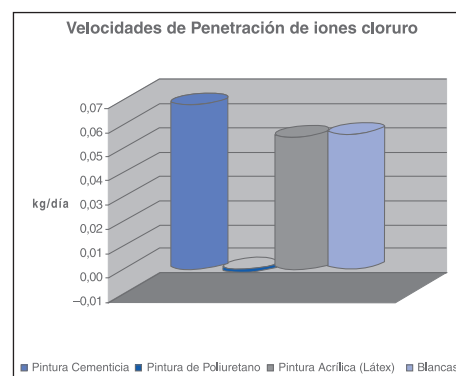


Gráfico N° 3: Velocidades de penetración de iones cloruro medida en kg/día

Para observar mejor este resultado se puede ver en el Gráfico N° 4.

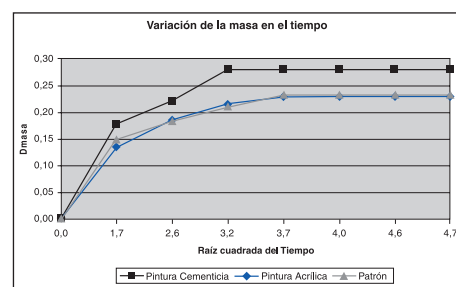


Gráfico N° 4: Variación de las masas de las probetas en el tiempo

En el Gráfico N° 4 se aprecia claramente que la pintura cementicia presenta una mayor velocidad de aumento de masa.

Análisis por razón a/c

Dado que se utilizaron dos razones a/c para la elaboración de las probetas, es necesario un análisis independiente por cada una, y observar las variaciones que presentaron.

Para determinar las características independientes de cada razón a/c se deben observar los datos de las Tabla N° 11.

De esta Tabla se puede deducir que el porcentaje de variación de las masas de las probetas es mayor en las de razón a/c

0,55 en aproximadamente un 48% más que en las de razón a/c 0,45.

Comparando las velocidades de penetración medidas en función de la variación de la masa en (kg/día), se obtiene información que se resume en el Gráfico N° 5.

Es interesante ver que se repite el mismo patrón de comportamiento para las probetas revestidas con pintura cementicia, el cual presenta el valor más alto de velocidad de penetración para probetas con razón a/c 0,55 y la menor la pintura acrílica de razón

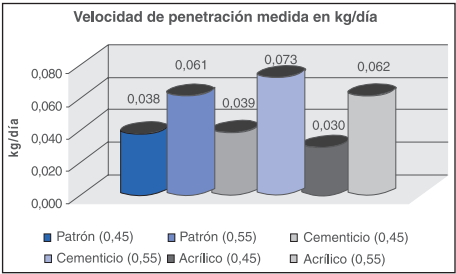


Gráfico N° 5: Velocidades de penetración de iones cloruros medido en kg/día

a/c 0,45, si separamos los resultados de los revestimientos con poliuretano, cuya velocidad de penetración es nula.

Al revisar los datos según razón a/c se puede resumir que:

1. El porcentaje de variación de la masa de las probetas con razón a/c 0,45 es un 48% menor que en las probetas con razón a/c de 0,55.
2. Las velocidades de penetración de iones cloruro medidas en kg/día presentaron valores mayores para las probetas revestidas con pintura cementicia y con razón a/c 0,55, siendo mayores incluso que las probetas blanco (sin pintura). Las probetas revestidas con pintura acrílica mostraron una menor velocidad de penetración.

Estas observaciones confirman que el uso de razones a/c bajas (entre 0,40 y 0,45) para estructuras sometidas a ambientes marinos es esencial para lograr protección frente al medio marino.

3. Los sulfatos agregados a la solución de cloruro de sodio en esta investigación no aportó ningún cambio notorio en las probetas, contrario a lo que se esperaba.

Razón a/c=0,45				
	Pintura Cementicia	Pintura de Poliuretano	Pintura Acrílica	Patrón
Día	Masa (kg)	Masa (kg)	Masa (kg)	Masa (kg)
1	8,52	8,38	8,38	8,36
4	8,62	8,38	8,47	8,46
8	8,65	8,38	8,48	8,50
11	8,72	8,39	8,51	8,52
15	8,70	8,39	8,53	8,54
17	8,70	8,39	8,53	8,54
21	8,70	8,39	8,53	8,54
23	8,70	8,39	8,53	8,54
% Variación	2,19%	0,080%	1,71%	2,17%
Razón a/c=0,55				
	Pintura Cementicia	Pintura de Poliuretano	Pintura Acrílica	Patrón
Día	Masa (kg)	Masa (kg)	Masa (kg)	Masa (kg)
1	8,28	8,14	8,00	8,15
4	8,51	8,14	8,18	8,36
8	8,56	8,14	8,25	8,40
11	8,62	8,14	8,28	8,43
15	8,63	8,14	8,30	8,45
17	8,63	8,14	8,30	8,45
21	8,63	8,14	8,30	8,45
23	8,63	8,14	8,30	8,45
% Variación	4,23%	0,00%	3,69%	3,61%

Tabla N° 11: Distribución de probetas según razón a/c

4. Entre los revestimientos utilizados: cementicio, poliuretano y acrílico, se concluye que el *poliuretano* presentó el mejor comportamiento frente a la solución salina, impidiendo la penetración de la solución al interior de las probetas.
5. En cuanto a los otros recubrimientos, el cementicio fue el de menor efectividad ante la solución salina, la que se manifestó por la mayor penetración de iones cloruro y el aumento de masa la de las probetas.

Zhang y Buenfeld (septiembre 2000), explican el comportamiento anómalo de este tipo de recubrimiento por la relación no-lineal entre la pasta de cemento (en recubrimientos cementicios) y los iones cloruro, es debido a la gradiente de concentración que se acumula en el mortero, creando una velocidad de difusión mayor hacia el interior de este tipo de probetas, ya que no existen áridos que frenen la difusión y, además, porque el revestimiento cementicio es como un mortero con adiciones. Los resultados obtenidos en esta investigación confirman esta situación.

6. El recubrimiento acrílico no tuvo un buen comportamiento frente a la acción de la solución salina, presentando alta velocidad de penetración de iones cloruro y un notable aumento de masa, aunque inferior al cementicio. Queda la duda sobre la efectividad del recubrimiento por el hecho de ser un producto comercial y no uno dosificado como se observó en la bibliografía analizada, que indicaba un buen comportamiento. Este revestimiento en particular amerita un estudio a futuro, para comprobar su posible efectividad.
7. Se ha podido dar respuesta a la formulación del problema de esta investigación, siendo el poliuretano, entre los estudiados, el recubrimiento que podría aumentar la durabilidad y mejorar las condiciones de servicio de las estructuras portuarias. Aún falta por analizar las probetas que estarán expuestas al menos 6 años en la zona de intermarea del puerto de San Antonio, V Región, Chile.

BIBLIOGRAFÍA

1. Calavera Ruiz, José. Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Madrid, España, INTEMAC, volumen 2, 1996.
2. Emmons, Peter H. En Concrete repair and maintenance Illustrated: Problem analysis, repair strategy, techniques. Kingston: Rs Means, c 1994. XVIII, 295 pp.
3. Maultzsch, M. Recipe: Spray Test. Rilem TC TMC. BAM Berlín, november 1998.
4. Norma Chilena NCh 170 of. 85: Hormigón, Requisitos generales. 1ª edición, INN, Santiago.
5. Perkins, Philip H. Repair, protection and waterproofing of concrete structures. 3ª edición, London. E & F Spon, 1997 XIX, 233 pp.
6. Thomas, Telford. Durable concrete structures: design guide. London, c 1992, 112 pp.
7. Zhang, J., Buenfeld, N. R. Chloride profiles in surface-treated mortar specimens. Construction and Building Materials. Tufts Library, pp. 359, september-october 2000.