

## EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE UN SELLADOR PARA CONCRETO ANTE LA PENETRACION DE IONES CLORURO\*

Víctor G. Andrade Carozzo e Isabel Díaz Tang\*\*

### RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivos evaluar la eficacia de un producto comercialmente expandido como un sellador para concreto contra la penetración de iones cloruro, e investigar condiciones (diseño) de ensayos de corrosión acelerada para simular diferentes grados de agresividad en zonas marinas.

Para el efecto, fueron evaluadas probetas cúbicas de concreto, tras ser sometidas a tres pruebas: inmersión continua en solución salina, ciclos alternados de niebla salina-secado y ensayo continuo en cámara de niebla salina; el grado de penetración de los iones cloruro en cada probeta fue determinado mediante análisis químicos.

### PALABRAS CLAVE

Corrosión en concreto armado, sellador para concreto, penetración de iones cloruro, ensayos de corrosión acelerada, corrosión en ambientes marinos.

---

\* Trabajo presentado en el I Congreso de Corrosión NACE-Región Latinoamericana y I Congreso Venezolano de Corrosión. 6 - 11 noviembre 1994, Maracaibo, Venezuela.

\*\* Laboratorio de Corrosión, Facultad de Ciencias e Ingeniería, PUCP.

## INTRODUCCION

Por lo general el concreto ofrece una buena protección contra la corrosión del acero de refuerzo en estructuras marinas. El tiempo de vida en servicio depende principalmente del grado de penetración de iones cloruro (la carbonatación del concreto no es importante como iniciador de la corrosión en estructuras marinas) y de la velocidad de corrosión en la zona de salpicaduras (*splash zone*), y se ha señalado que es la suma de los períodos de iniciación y propagación de la corrosión [1,2].

Cuando la concentración de iones cloruro que han penetrado desde el exterior (ingresantes) sobrepasa un valor crítico, da lugar a la iniciación de la corrosión de la armadura. Se puede decir que la penetración de iones cloruro ocurre mediante un proceso de difusión (si se asume que estos iones no reaccionan químicamente con algún componente del concreto). Respecto a esta etapa de iniciación, existen en la literatura diversos trabajos relacionados con la determinación de coeficientes de difusión [3,4,5,] y son conocidos los efectos de la relación agua/cemento, del proceso de curado y del tipo de cemento y de agregados sobre la permeabilidad del concreto.

De otro lado, una estructura marina puede ser verticalmente dividida en zonas con diferente comportamiento frente a la corrosión [6]:

- *Bajo agua*, los iones cloruro penetran relativamente rápido, pero el abastecimiento de oxígeno es muy limitado, con lo que la vida en servicio es de al menos varios cientos de años;
- *En la zona de marea*, los iones cloruro penetran casi tan rápido como bajo agua, la concentración de oxígeno es alta pero su suministro está restringido por la saturación de la capa de agua superficial; por lo tanto, la corrosión puede ser significativa, pero lenta;
- *En la zona de salpicaduras*, los iones cloruro penetran más lentamente, el concreto está relativamente seco permitiendo el ingreso de oxígeno, de manera que, luego de la iniciación, la corrosión puede proceder a una alta velocidad;
- *En la zona atmosférica*, no existe el peligro de una alta concentración de iones cloruro, por lo que no se ha de esperar corrosión sino hasta después de largo tiempo.

Así, la zona de salpicaduras presenta las condiciones óptimas para la corrosión, y es allí en donde es crítica.

Muchas son las medidas de precaución disponibles para minimizar el ingreso de iones cloruro: empleo de un concreto denso (baja relación agua/cemento), selección de un adecuado tipo de cemento y de agregados, o el uso de diversos tipos de recubrimientos u otras barreras.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la eficacia de un producto que, aplicado sobre la superficie del concreto, actuaría como sellador contra la penetración de iones cloruro.

Las especificaciones técnicas de este sellador, al cual se ha denominado CF, señalan que se trata de un producto elastomérico de base acuosa, compuesto principalmente de polisilicatos penetrantes y emulsiones acrílicas, que al ser aplicado sobre el concreto penetra por los poros, reacciona químicamente con la cal libre en éste y cristaliza con el hidróxido de calcio pasando a formar parte integral del concreto. Por ello se dice que forma una unión química, no una unión adhesiva.

Para la evaluación, probetas de concreto fueron sometidas a ensayos de corrosión acelerada que podrían ser relacionadas con la agresividad de las diferentes zonas en que puede ser dividida una estructura marina: ensayo de **inmersión continua** en solución salina (*zona de marea*), ciclos alternados de **niebla salina-secado** (*zona de salpicaduras*) y **ensayo continuo en cámara de niebla salina** (*zona atmosférica*).

Finalizados los ensayos, fue determinada la cantidad de iones cloruro que penetraron a diferentes profundidades en las probetas.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### **Elaboración de las probetas de concreto**

Fueron preparadas probetas cúbicas de 10,16 cm (4 pulgadas) de arista. Adicionalmente fueron elaboradas probetas cilíndricas estándar, a ser sometidas a un ensayo de compresión que verificara el valor de su resistencia a este tipo de esfuerzo.

Los datos del concreto empleado son las siguientes:

- Concreto con resistencia a la compresión,  $f' c = 245 \text{ kg/cm}^2$

- Relación agua a cemento, a/c = 0,5 (en peso)
- Cemento Portland Tipo I

Luego del vaciado, las probetas de concreto fueron curadas durante un período de 14 días, siguiendo un período igual de secado, para luego dar inicio a los ensayos correspondientes.

Algunas probetas (“probetas de control”) fueron seleccionadas al azar, para ser utilizadas en la determinación del contenido inicial (nivel de referencia) de iones cloruro en la mezcla de concreto.

En cada prueba fueron utilizadas 6 probetas: sin sellador (2), con 2 capas de sellador (2) y con 3 capas de sellador (2).

La aplicación del sellador CF fue efectuada durante los 3 últimos días del período de secado de las probetas, observándose un intervalo de 24 horas entre la aplicación de cada capa.

### **Ensayos de corrosión acelerada**

*Prueba “A”*.-Ensayo de inmersión continua (basado en Norma AASHTO T-259) durante 90 días.

Las probetas fueron inmersas en una solución de cloruro de sodio (NaCl) 3%, manteniendo un nivel constante de la solución de 13 mm de altura.

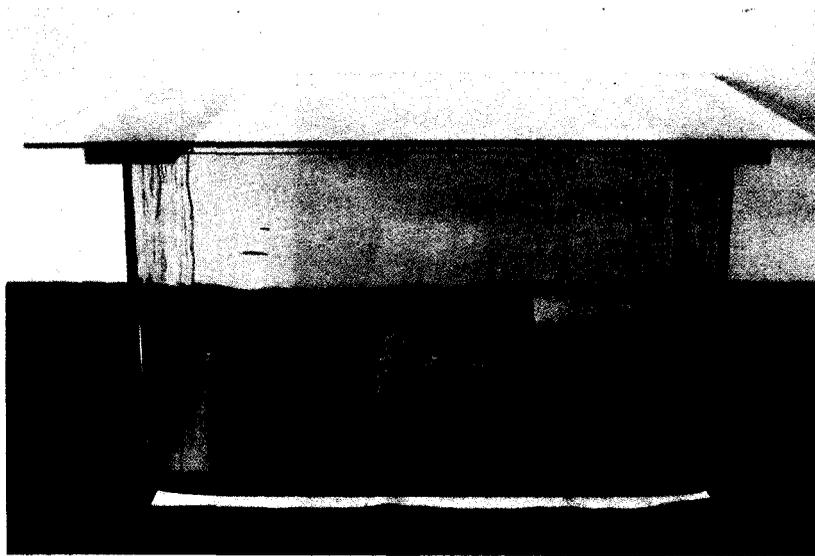
*Prueba “B”*.-Ciclos alternados (períodos de 7 días) de niebla salina y secado (según Norma DIN 50907) durante 12 semanas.

Fue utilizada una cámara de niebla salina y la pulverización de una solución NaCl 5%, y el secado en atmósfera controlada (temperatura = 18°C, humedad relativa = 70%).

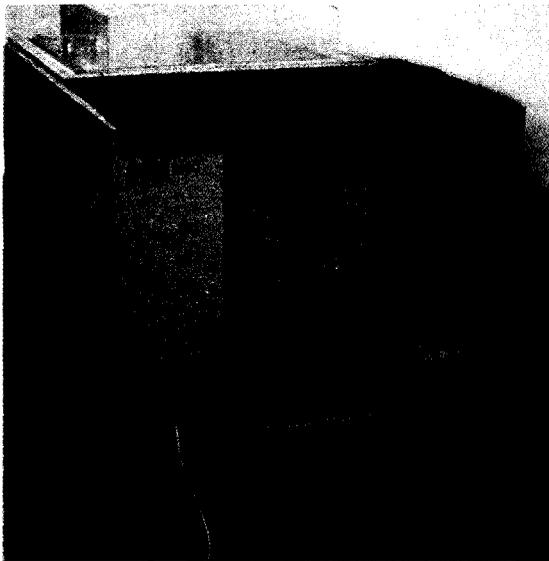
*Prueba “C”*.- Ensayo continuo en cámara de niebla salina (según Norma DIN 50907) durante 14 días.

Condiciones: como en la prueba “B”.

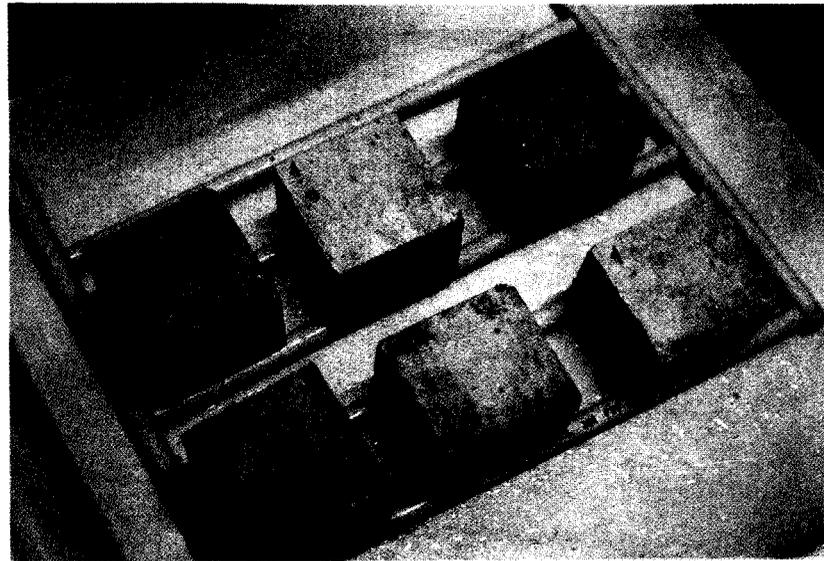
En las figuras 1 a 5 son mostradas algunas etapas del trabajo experimental.



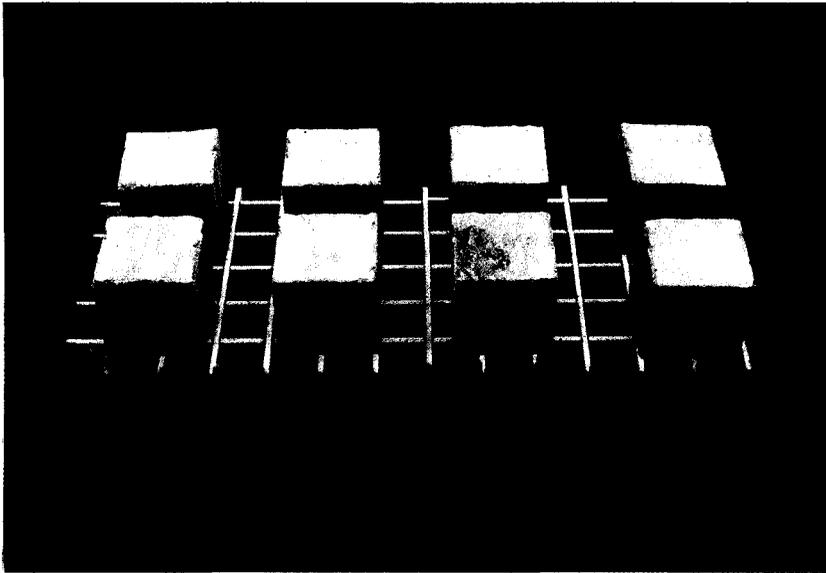
**Fig. 3.** Probetas de concreto en el ensayo de inmersión continua



**Fig. 4.** Ensayo en cámara de niebla salina neutra



**Fig. 5.** Probetas de concreto sometidas al ensayo de niebla salina



**Fig. 1.** Probetas cúbicas de concreto pertenecientes al presente estudio



**Fig. 2.** Aplicación del sellador para concreto a las probetas antes de los ensayos

## Determinación del contenido de iones cloruro

El contenido de iones cloruro en cada probeta una vez finalizadas las pruebas (y tras el período de secado correspondiente) fue determinado mediante análisis químico (según Norma ASTM D-1411-69).

Para el efecto fueron extraídas muestras de polvo de concreto en cada probeta en los siguientes intervalos de profundidad:

0	-	13 mm	(0,0	-	0,5 pulg.)
13	-	25 mm	(0,5	-	1,0 pulg.)
25	-	38 mm	(1,0	-	1,5 pulg.)
38	-	51 mm	(1,5	-	2,0 pulg.)

Correspondiendo a cada intervalo de profundidad, fue preparada una mezcla con las muestras de polvo de concreto extraídas de 3 distintas ubicaciones en cada probeta. Los resultados de los análisis químicos corresponden a los valores encontrados en cada una de estas mezclas.

## RESULTADOS Y DISCUSION

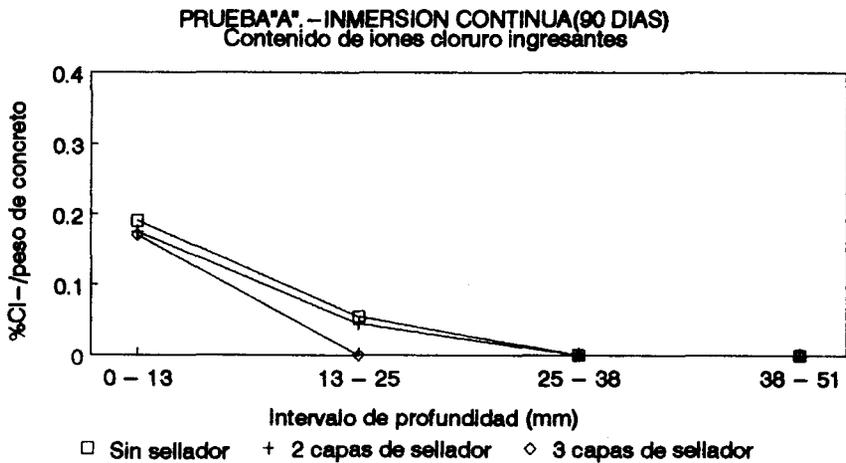
Teniendo en cuenta que los análisis químicos realizados en las probetas de control indicaron que el contenido inicial (nivel de referencia) de iones cloruro en la mezcla de concreto era 0,04%, en las Tablas 1 a 3 y en las Figuras 6 a 8 son mostrados los valores que indican las concentraciones promedio debido a los iones cloruro que han penetrado desde el exterior (ingresantes).

Finalmente, si se acepta que la efectividad del sellador puede ser evaluada principalmente por la cantidad de iones cloruro ingresantes que ha sido determinada en el primer intervalo de profundidad (0-13 mm) –en la Tabla 4 y la Figura 9 son comparados los resultados obtenidos para las tres pruebas.

De los resultados puede verse que, para las condiciones de las pruebas (agresividad y duración, principalmente), resulta interesante analizar y comparar sólo los valores de concentración de iones cloruro ingresantes encontrados en las muestras extraídas de los dos primeros intervalos de profundidad (0-13 y 13-25 mm), por sobrepasar o estar en el límite del contenido de iones cloruro permitido para concreto, con peligro potencial de corrosión de la armadura.

**Tabla 1** Prueba "A" - Porcentaje de cloruros ingresantes

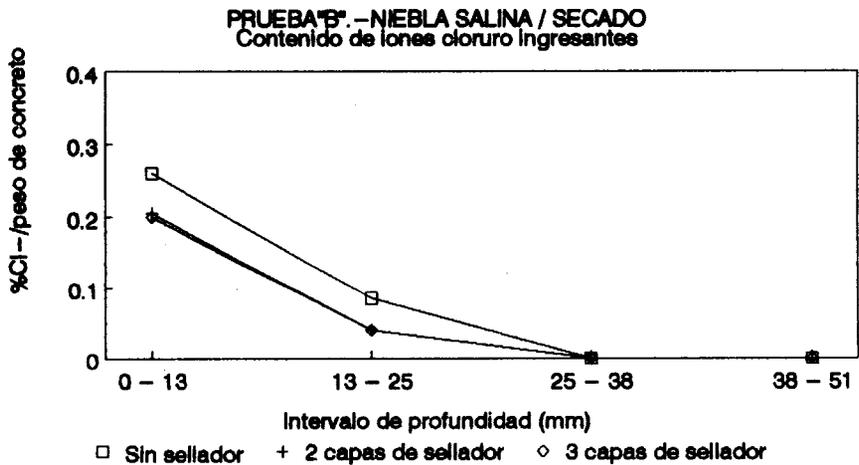
Tratamiento del Concreto	Porcentaje promedio de Cl <sup>-</sup> por intervalo de profundidad (mm)			
	0 - 13	13 - 25	25 - 38	38 - 51
Sin sellador	0.190	0.055	0.000	0.000
2 capas de sellador	0.175	0.045	0.000	0.000
3 capas de sellador	0.170	0.000	0.000	0.000



**Fig. 6.** Prueba "A" - Inmersión continua (90 días). Contenido de iones cloruro ingresantes

**Tabla 2** Prueba "B" - Porcentaje de cloruros ingresantes

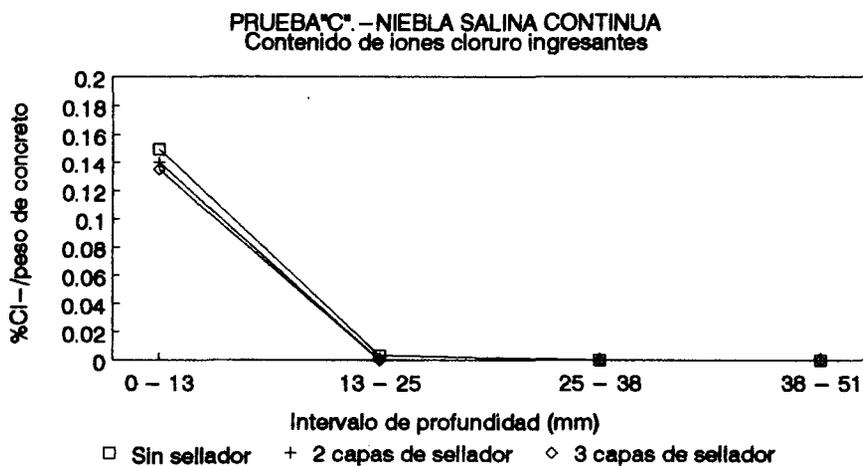
Tratamiento del Concreto	Porcentaje promedio de Cl <sup>-</sup> por intervalo de profundidad (mm)			
	0 - 13	13 - 25	25 - 38	38 - 51
Sin sellador	0.260	0.085	0.000	0.000
2 capas de sellador	0.205	0.040	0.000	0.000
3 capas de sellador	0.200	0.040	0.000	0.000



**Fig. 7.** Prueba "B" - Niebla salina/secado. Contenido de iones cloruro ingresantes

**Tabla 3** Prueba “C” - Porcentaje de cloruros ingresantes

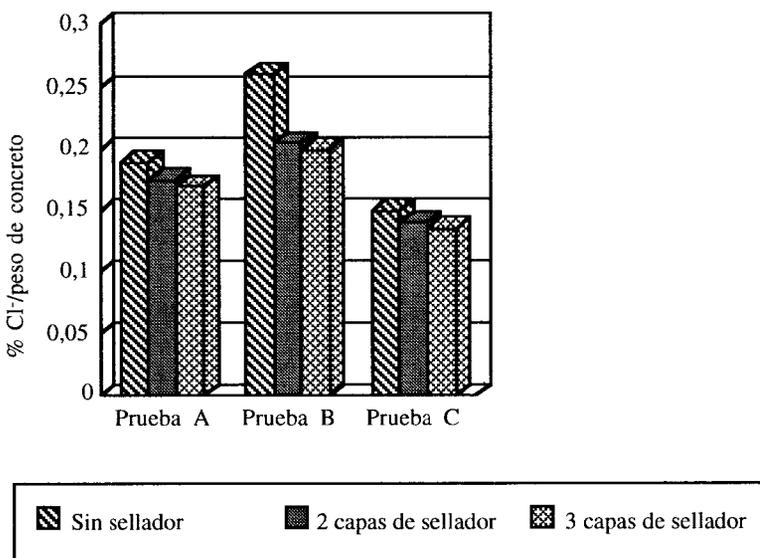
Tratamiento del Concreto	Porcentaje promedio de Cl <sup>-</sup> por intervalo de profundidad (mm)			
	0 - 13	13 - 25	25 - 38	38 - 51
Sin sellador	0.150	0.003	0.000	0.000
2 capas de sellador	0.140	0.000	0.000	0.000
3 capas de sellador	0.135	0.000	0.000	0.000



**Fig. 8.** Prueba “C” - Niebla salina continua. Contenido de iones cloruro ingresantes

**Tabla 4** Porcentaje de iones cloruro ingresantes en el intervalo 0 - 13 mm

Tratamiento del Concreto	Contenido promedio de iones cloruro en el intervalo de 0 - 13 mm (porcentaje por peso de concreto)		
	Prueba A	Prueba B	Prueba C
Sin sellador	0.190	0.260	0.150
2 capas de sellador	0.175	0.205	0.140
3 capas de sellador	0.170	0.200	0.135



**Fig. 9.** Comparación de las tres pruebas. Contenido de iones cloruro ingresantes

Respecto a aquellas concentraciones que resultan ligeramente menores que el nivel de referencia (para los intervalos de mayor profundidad), pueden ser explicadas teniendo en cuenta que durante las pruebas, en la parte interna de las probetas pueden darse aún reacciones entre los iones cloruro y las fases alumino-ferríticas del cemento formando cloroaluminatos, los cuales quedan formando parte de las fases sólidas del cemento hidratado, disminuyendo así la cantidad de iones cloruro “libres”. En estos casos –en donde luego de sustraer el contenido inicial de iones cloruro se obtiene *valores negativos*– *se ha asumido un penetración nula*.

Comparando los resultados de las tres pruebas, se comprueba el **orden de agresividad** de las condiciones simuladas: mayor penetración en el ensayo de ciclos alternados niebla salina-secado o Prueba “B” (equivalente a zona de salpicaduras) y la menor penetración en el ensayo continuo en cámara de niebla salina o Prueba “C” (simulando exposición atmosférica). Estos resultados invitarían a una ampliación del estudio, con miras a establecer una correlación entre el diseño de las pruebas y datos obtenidos de estructuras “reales”.

En cuanto a la **eficacia del sellador CF**, puede observarse que es clara su acción de “barrera” si se compara el grado de penetración de iones cloruro en las probetas sin sellador con el de aquéllas en las que ha sido aplicado. No encontramos diferencia significativa en la protección brindada por un tercera capa de sellador, aunque no descartamos que a mayor duración de los ensayos, estas diferencias puedan hacerse notablemente evidentes.

Si se calcula y compara los porcentajes de reducción de la penetración de iones cloruro (para el primer intervalo de profundidad), se encontrará también que la efectividad del sellador CF resultó más evidente bajo las condiciones de ensayo más agresivas (Prueba “B”). Un criterio empírico para determinar si estos porcentajes de reducción son o no suficientes para clasificar este sellador como “bueno”, tendría que estar referido a las condiciones de ensayo [7], entre otros factores.

## AGRADECIMIENTOS

Una parte de este estudio fue realizado por solicitud y financiamiento de la empresa Concret S.A.. Agradecemos el apoyo de la Facultad de Ciencias e Ingeniería para la realización del trabajo, al personal del Laboratorio de Corrosión, del Laboratorio de Ensayos de Materiales y del Laboratorio de Estructuras Antisísmicas y las sugerencias del Ing. Carlos Casabonne R. sobre el diseño de algunos ensayos.

## BIBLIOGRAFIA

1. R. B. Polder (1989) **Proceedings of 9th European Congress on Corrosion**, Utrecht, Vol. II, BU-145.
2. L. J. Dukic, I. Stern (1981) **Proceedings of 8th ICMC**, Mainz, Vol. II pp. 1055-1060.
3. A. Raharinaivo, P. Brevet, G. Grimaldi, J. Carpio (1989) **Proceedings of 9th European Congress on Corrosion**, Utrecht, Vol. II, BU-097.
4. K. P. Fisher, O. Bryhn, P. Aaggard, (1984) *Corrosion*, 40,7 pp: 358-366.
5. A. Raharinaivo, J. M. R. Genin (1986) *Materiales de construcción*, 36, 204: pp 5-16.
6. I. Esih, M. Kunst (1980) **Proceedings of Interfinish 80**, Kyoto, pp. 328-333.
7. D. W. Pfeifer, W. F. Perenchio (1983) "Coatings, penetrants and specialty concrete overlays and concrete surfaces" in **"Solving rebar corrosion problems in concrete"** - Seminar Reprints, Preprint N° 12, NACE, Houston.