

# Evaluación del método de extracción electroquímica de cloruros para la rehabilitación de estructuras de hormigón dañadas por corrosión de la armadura

## *Evaluation of the method of electrochemical extraction of chlorides ions for the rehabilitation of concrete structures with reinforcement corrosion problems*

E. MONTEIRO<sup>(\*)</sup>, P. HELENE<sup>(\*)</sup>, P. BARBOSA<sup>(\*)</sup>

<sup>(\*)</sup>Escola Politécnica de la Universidad de Pernambuco, <sup>(\*\*)</sup>Escola Politécnica de la Universidad de São Paulo

Fecha de recepción: 29-I-03  
Fecha de aceptación: 30-V-03

BRASIL

### RESUMEN

*El actual trabajo evalúa el método de extracción electroquímica de cloruros para la rehabilitación de estructuras de hormigón corroídas. La influencia del espesor de recubrimiento y de la relación agua/cemento en la eficacia del método fue estudiada determinando el contenido inicial y final de cloruros. La técnica de impedancia electroquímica y el potencial de la corrosión fueron utilizados para el monitorización del comportamiento electroquímico del refuerzo durante la extracción de cloruros. Los resultados de los ensayos verificaron que este método extrajo con éxito cloruros, tal y como fue divulgado previamente en la literatura. Como promedio, este método extrajo el 77% del contenido de iones iniciales de cloruros a una distancia de 0,5 centímetros de la superficie, y el 50% del contenido de cloruros cerca de las armaduras.*

### SUMMARY

*The present work evaluates the method of electrochemical extraction of chloride ions for the rehabilitation of corroded concrete structures. The influence of the concrete cover and the water-to-cement ratio in the efficiency of the method was studied by determining the initial and the final chloride content. Electrochemical impedance spectroscopy and the corrosion potential were used to monitor the reinforcement electrochemical behavior during the chloride extraction. The test results verify that this method successfully extracted chloride ions like it was previously reported in the literature. On average, this method removed 77% of the content of initial chloride ions at a distance of 0.5 cm from the surface and 50% of the content of initial chloride ions near the rebars.*

**PALABRAS CLAVE:** extracción electroquímica de cloruros, hormigón reforzado, corrosión, cloruros.

**KEYWORDS:** electrochemical chloride extraction, reinforced concrete, corrosion, chlorides.

### 1. INTRODUCCIÓN

La corrosión de la armadura es una de las causas principales de degradación en estructuras hormigonadas reforzadas. Los cloruros se pueden introducir en el hormigón por los aditivos, la arena contaminada o la

### 1. INTRODUCTION

*The corrosion of steel reinforcement is one of the main causes of distress in reinforced concrete structures. Chloride ions can be introduced in the concrete by admixtures, contaminated sand, or external*

penetración externa. Cuando la concentración de cloruros alcanza un nivel crítico, provocan una disolución localizada de la capa pasiva y el proceso corrosivo comienza, reduciendo la vida de servicio, afectando su estabilidad, funcionalidad y estética.

Actualmente, son varios los métodos se utilizan para la reparación del refuerzo en miembros reforzados corroídos. La selección de una estrategia de reparación depende de la naturaleza de la degradación, de las características de la región, y de los requisitos de la funcionalidad de la estructura para ser reparada (1). Las estrategias tradicionales de la reparación son, a menudo, técnicas destructivas que consisten en quitar parte del hormigón contaminado y sustituirlo por los materiales de reparación. Una estrategia de la reparación no destructiva es la de usar métodos electroquímicos; sin embargo, es protección catódica, realcalinización o extracción de cloruros los más empleados.

Para la extracción de cloruros por el método electroquímico se aplica un campo eléctrico entre el refuerzo dentro del hormigón y un electrodo externo, a través de un acoplamiento metálico sumergido en un depósito de electrolito. El campo eléctrico hace emigrar a los cloruros del refuerzo (cátodo) al acoplamiento (ánodo). Como consecuencia de las reacciones catódicas, ocurre una migración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  a las regiones al lado del refuerzo, produciendo iones  $\text{OH}^-$  en su superficie. Este método es muy interesante en ciertos casos, tales como pilares fuertemente contaminados, fundaciones o elementos estructurales, donde la retirada de volúmenes de hormigón contaminado podría afectar a la integridad estructural.

Entre 1973 y 1975, Lankart *et al.* (2) y Morrison *et al.* (3) llevaron a cabo investigaciones sobre la extracción electroquímica de cloruros, concentrándose en cómo el cloruro se podría quitar rápidamente de las probetas. Estos estudios fueron referidos sobre todo a la extracción de cloruros en ranuras de las carreteras, siendo importante la rapidez en la extracción del cloruro, para evitar el bloqueo del tráfico.

La mayoría de los estudios posteriores se ha centrado en las siguientes áreas: la eficacia del método, la vuelta de cloruros residuales cerca del refuerzo, la reducción de adherencia hormigón/armadura, la reacción de árido-álcali y la fragilización por hidrógeno en el acero que reforzaba. Marcotte *et al.* (4) utilizan propuestas para analizar la eficacia del tratamiento en probetas cilíndricas del mortero con un acero afectado por dos tipos de contaminación de cloruros (los cloruros añadidos con el agua que se mezclaba y los cloruros puestos en una solución externa). Utilizaron resistencia de polarización y medidas potenciodinámicas de polarización. El actual trabajo estudia la influencia del espesor de recubrimiento y de la relación agua/cemento

*penetration. When the concentration of chloride ions reaches a critical level, depassivation of the reinforcement occurs and the corrosive process begins, reducing the structures' service life, affecting its stability, functionality, and aesthetics.*

*Currently, various methods are used to repair the reinforcement in corroded reinforced members. The selection of a repair strategy depends on the nature of the distress, the characteristics of the region to be corrected, and the functionality requirements of the structure to be repaired (1). Traditional repair strategies are often destructive techniques that consist of removing the contaminated concrete and having it substituted by repair materials. A repair strategy using electrochemical methods, however, is often non-destructive, consisting of cathodic protection, realcalinization, or extraction of chloride ions.*

*Extracting chloride ions through electrochemical methods functions by applying an electric field between the reinforcement inside the concrete and an external electrode made by a metallic mesh immersed in an electrolyte reservoir. The electric field causes the chloride ions to migrate from the reinforcement (cathode) to the mesh (anode). As consequence of the cathodic reactions, a migration of  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  to the regions next to the reinforcement occurs, producing hydroxyl ions on its surface. This method is very attractive in cases such as heavily contaminated pillars, foundations, or structural elements where the removal of volumes of contaminated concrete could compromise the structural integrity.*

*Between 1973 and 1975, Lankart *et al.* (2) and Morrison *et al.* (3) conducted research on electrochemical chloride extraction, concentrating on how quickly chloride could be removed from the test specimens. These studies were primarily concerned with chloride extraction in highway slots, and the rapidity of extracting the chloride was critical in order to avoid traffic blocking.*

*The majority of subsequent studies have focused on the following areas: the efficiency of the method, the return of unremoved chloride ions to the reinforcement neighborhood, the reduction of the bond between the steel and the concrete, the cracking of the concrete, the alkali silica reaction, and the hydrogen evolution in the reinforcing steel. Marcotte *et al.* (4) proposed using electrochemical techniques in order to analyze the efficiency of the treatment in cylindrical mortar specimens with an embedded steel with two types of chlorides contamination (chlorides added with the mixing water and chlorides ingressed from an external solution). They used linear polarization resistance and full potentiodynamic polarization measurements. The present work studies the influence of the concrete cover*

en la eficacia del método. La impedancia electroquímica se utiliza para caracterizar el comportamiento de las barras que sirven de refuerzo, antes y después de la extracción del cloruro.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Preparación de la probeta

Se probaron un total de ocho probetas usando la extracción electroquímica. La Tabla 1 muestra los niveles del espesor de recubrimiento, de la relación agua/cemento y de la proporción de la mezcla propuestos por Monteiro *et al.* (5) para obtener el hormigón con la misma trabajabilidad (no siendo considerada una variable dependiente en este trabajo).

Las probetas se desmoldan después de 24 horas y se curan por espacio de 28 días, a una temperatura de 23 °C y una humedad relativa por encima del 95%. Después de 28 días, las probetas fueron mantenidas en una cámara de niebla salina durante 91 días, según la normativa de ASTM B117 (6).

### 2.2. Ensayos electroquímicos

Los ensayos de impedancia electroquímica fueron realizados usando un modelo 283 potentiostat/galvanostat de EG&G PARC. Para alcanzar un estado inmóvil, cada medida electroquímica fue hecha solamente después que las probetas fueron puestas durante 5 días en una cámara de niebla en 23 °C y humedad relativa de 95%, y bajo agua por 1 día. El refuerzo de acero utilizado en las probetas actuaba como el electrodo de trabajo, un acoplamiento del acero inoxidable fue utilizado como contraelectrodo, aparte de un electrodo de referencia. El agua fue utilizada como electrolito y cambiada diariamente para reducir al mínimo la alteración de la solución durante la extracción. El potencial del circuito abierto fue

and the water-to-cement ratio in the efficiency of the method. Electrochemical impedance spectroscopy is used to characterize the behavior of the reinforcing bars before and after the chloride removal.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Sample preparation

A total of eight specimens were tested using electrochemical extraction. Table 1 shows the levels of concrete cover and the variation of the water/cement ratio and the mix proportion proposed by Monteiro *et al.* (5) to obtain concrete with the same workability (not being considered as a dependent variable in this work).

The specimens were demolded after 24 hours and cured in the fog chamber for 28 days at a temperature of 23 °C and relative humidity higher than 95%. After 28 days, the specimens were kept in a salt spray chamber for 91 days, according to ASTM B117 (6) standard.

### 2.2. Electrochemical tests

The electrochemical impedance spectroscopy tests were performed using an EG&G PARC Model 283 potentiostat/galvanostat coupled to a lock-in model 5210. In order to achieve a stationary state, each electrochemical measurement was made only after the specimens had been for 5 days in a fog room at 23 °C and 95% relative humidity and immersed in tap water for 1 day. Steel reinforcement embedded in the concrete specimens acted as the working electrode, a stainless steel mesh was used as the counter electrode, and a saturated calomel electrode was used as the reference electrode. Tap water was used as the electrolyte and was changed daily to minimize the alteration of the solution during the extraction. The open circuit

TABLE 1/TABLE 1

Probetas usadas

Specimens used

PROBETAS SPECIMENS	MEZCLA MIX PROPORTIONS	RECUBRIMIENTO (cm) CONCRETE COVER (cm)	RELACION AGUA/CEMENTO WATER/CEMENT RATIO
A5	1:1.38:3.11	2	0.65
A10	1:1.38:3.11	2	0.65
B1	1:0.79:2.36	2	0.45
B8	1:0.79:2.36	2	0.45
A4	1:1.38:3.11	4	0.65
A6	1:1.38:3.11	4	0.65
B3	1:0.79:2.36	4	0.45
B10	1:0.79:2.36	4	0.45

supervisado una hora antes de que la impedancia fuese medida, a fin de garantizar que las medidas de la impedancia serían conducidas en estado inmóvil.

Los ensayos de impedancia utilizaron un disturbio potencial de 10 mV, con una gama de frecuencia a partir de 100 kilociclos a 10 megaciclos; fueron registradas siete medidas para cada década de frecuencia. Los datos de la impedancia fueron trasladados a un modelo del circuito equivalente, para determinar el valor de la resistencia de polarización cuando estaban utilizados, con el fin de obtener el valor de corrosión del acero en el hormigón (valores de frecuencia baja) o la resistencia óhmica del hormigón si este circuito se utiliza para meter el primer arco capacitivo (valores de alta frecuencia).

Un circuito equivalente fue utilizado para introducir ambos arcos por separado, porque los dos arcos obtenidos en la gama de frecuencia usada no eran completos; es muy difícil trasladar los datos a un circuito equivalente que incluya los dos arcos con un error más bajo que 10% (valor usado generalmente en la medida electroquímica).

La resistencia de polarización ( $R_p$ ) fue correlacionada a corrosión por la ecuación propuesta por Stern, y Geary (7):

$$i_{corr} = \frac{K_{sg}}{R_p} = \frac{1}{R_p} \times \frac{b_a \times b_c}{2.3 \times (b_a + b_c)} \quad [1]$$

Donde:

$i_{corr}$  = densidad de corriente de corrosión;

$K_{sg}$  = constante de Stern y Geary;

$R_p$  = resistencia de polarización;

$b_a$  e  $b_c$  = constantes de Tafel

El valor de  $K_{sg}$  usado en este trabajo era 26 mV, adoptados por Andrade (8) para el caso de la corrosión activa.

### 2.3. Contenido de cloruros

El contenido inicial y final de los cloruros se ha medido en las muestras a un extremo de 0,5 centímetros de las probetas, según se puede apreciar en la Figura 1. Las muestras de las probetas fueron apartadas porque la densidad de la corriente era no uniforme a través de la superficie del hormigón. Atacando la muestra con ácido nítrico y realizando una valoración potenciométrica en la solución del ataque con  $AgNO_3$  de los 0,05M se determinó el contenido total de cloruros.

Según se ve en la Figura 1, la primera muestra de 0,25 centímetros fue apartada porque tenía un alto contenido de cloruros en la superficie del hormigón. Después, una muestra de 0,5 centímetros del hormigón

*potential was monitored for one hour before the impedance was measured to guarantee that the impedance measures would be conducted in the stationary state.*

*The impedance tests used a potential disturbance of 10 mV with a frequency range from 100 kHz to 10 mHz; seven measurements were recorded for each frequency decade. The impedance data were fitted to an equivalent circuit model, in order to determine the polarization resistance value when used to fit the last capacitive arc, to obtain the steel corrosion rate in concrete (low frequency values) or the ohmic resistance of the concrete if this circuit is used to fit the first capacitive arc (high frequency values).*

*A simple equivalent circuit was used to fit both arcs separately, because the two arcs obtained in the frequency range used were not complete; it is very difficult to fit the data to an equivalent circuit that includes the two arcs with an error lower than 10% (value usually used in electrochemical fitting).*

*The polarization resistance ( $R_p$ ) was correlated to the corrosion rate by the equation proposed by Stern, and Geary (7):*

*Where:*

*$i_{corr}$  = corrosion current density;*

*$K_{sg}$  = Stern and Geary's constant;*

*$R_p$  = polarization resistance;*

*$b_a$  e  $b_c$  = Tafel constants.*

*The value of  $K_{sg}$  used in this work was 26 mV, adopted by Andrade (8) for the case of active corrosion.*

### 2.3. Chloride content

*The initial and final chlorides content have been measured from both extremity 0.5 cm slices of the specimens, as shown in Figure 1. Slices of the specimens were removed because the current density was non-uniform throughout the concrete's surface. Attacking the sample with nitric acid and performing a potentiometric titration on the attack solution with 0.05M  $AgNO_3$  determined the total chloride content.*

*As shown in Figure 1, the first 0.25 cm slice was removed because it had high chloride content in the surface of the concrete. After that, a 0.5 cm slice of concrete was removed in order to determine the*

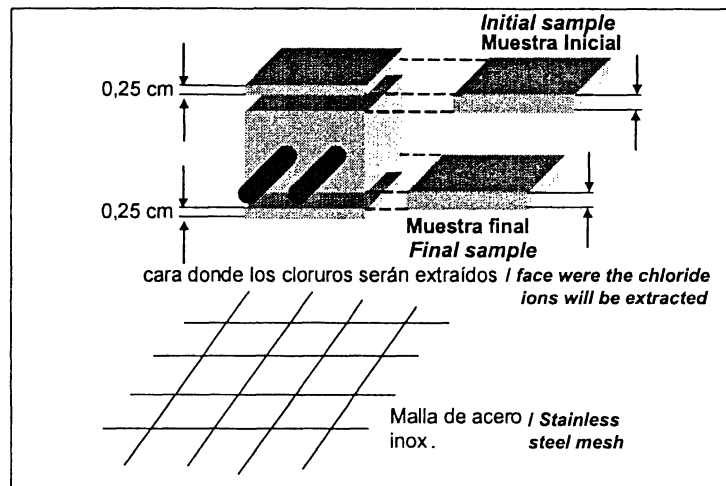


Figura 1.- Muestras para la determinación del contenido de cloruros.

Figure 1.- Samples for chloride content determination.

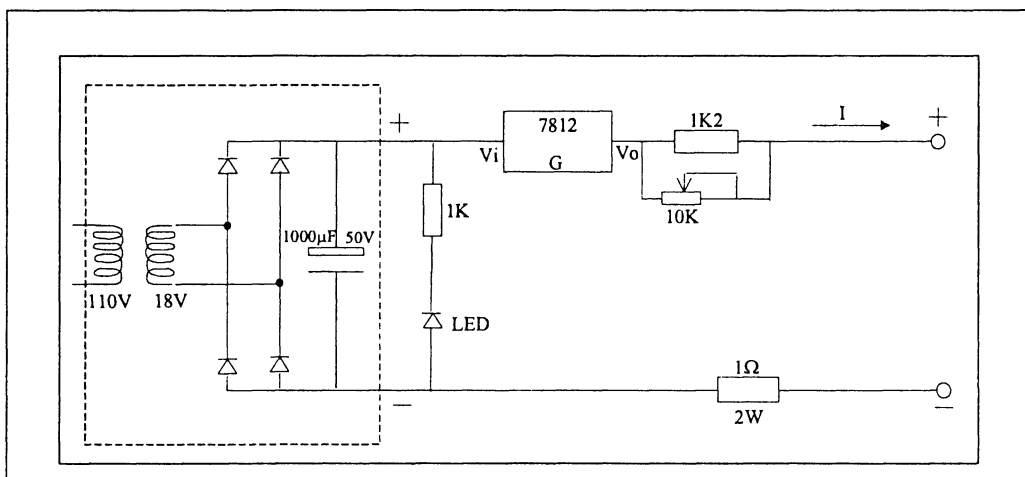


Figura 2.- Fuente de corriente.

Figure 2.- Current source.

fue apartada para determinar el contenido del cloruro. Porque el proceso de cortar da lugar a una pérdida de 0,25 centímetros, las probetas fueron construidas de modo tal que la cara donde fue extraída la muestra inicial tuviera un recubrimiento de 1 centímetro mayor que la otra cara, en un claro intento de mantener el espesor de recubrimiento igual para la extracción electroquímica en ambas caras, una vez que la muestra inicial del contenido del cloruro fuera extraída.

#### 2.4. Extracción de cloruros

El acero inoxidable fue utilizado como ánodo externo. Para mantener la distribución correcta de la corriente, la fuente de corriente mostrada en la Figura 2 fue puesta para mantener constante la corriente en la extracción en  $1 \text{ A/m}^2$  en la superficie del hormigón durante el tratamiento; por lo tanto, no había necesidad de hacer

chloride content. Because the process of cutting results in a concrete loss of 0.25 cm, the specimens were constructed so that the face where the initial sample was extracted had a 1 cm concrete cover thicker than the other face, in an attempt to keep the concrete cover the same cover depth throughout the electrochemical extraction in both faces once the initial sample of chloride content was removed

#### 2.4. Chloride extraction

Stainless steel meshes were used as external anodes. To keep the correct distribution of the current, the current source shown in Figure 2 was impressed to keep the extraction current stable at  $1 \text{ A/m}^2$  on the concrete surface during the treatment; therefore, there was no need to make any adjustments while the chlorides were

ningun ajuste mientras que los cloruros eran extraídos. El experimento se hizo en ciclos de 2 semanas de tratamiento, seguido por una semana de interrupción, para un total de 6 semanas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Monitorización electroquímica durante la extracción de cloruros

Las medidas del potencial de corrosión y impedancia en circuito abierto fueron llevadas antes del principio de la extracción y en el final de cada período de la interrupción, según se muestra en la Figura 3.

La meta inicial de los ensayos electroquímicos era verificar la eficacia de este método en extraer el cloruro. Podría esperarse que, en el caso de períodos más largos del tratamiento, potenciales más positivos, traerían como consecuencia que habría menos cloruros que intervinieran en el proceso corrosivo y el electrodo de acero sería menos polarizado. En el experimento, sin embargo, los valores del potencial, muy negativo, alrededor de -900 mV en lo referente al SCE, fue debido a la polarización catódica del acero.

Según Marcotte *et al.* (4), esta polarización reduce la capa pasiva y los productos de la corrosión en la superficie del refuerzo, dejándola susceptible a la corrosión generalizada en todas las áreas disponibles. Esta hipótesis es confirmada por los resultados demostrados en la Figura 4. Obsérvese que el valor más alto de la corrosión fue encontrado en la segunda medida, tomada después de dos semanas del tratamiento y de una semana de interrupción, donde ya habría habido tiempo para la depasivación total del

being removed. The experiment was conducted in 2 week cycles followed by a 1 week hiatus and then another 2 weeks on, 1 week off cycle for a total of 6 weeks.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Electrochemical monitoring during the of ions chloride extraction

Open circuit potential and impedance measurements were carried through before the beginning of the extraction and at the end of each interruption period, as shown in Figure 3.

The initial goal of the electrochemical tests was to verify the efficacy of this method in extracting chloride. It could be expected that in the case of longer treatment periods, more positive potentials would be observed as there would have been less chlorides to participate in the corrosive process and the steel electrode would be less polarized. In the experiment discussed here, however, very negative potential values, around -900 mV in relation to the SCE, were found as a result the cathodic polarization of the steel.

According to Marcotte *et al.* (4), this polarization reduces the passive layer and the products of corrosion in the surface of the reinforcement, leaving it susceptible to generalized corrosion in all available areas. This hypothesis is confirmed by the results shown in Figure 4. Note that the highest corrosion rate is found in the second measurement, taken after two weeks of treatment and one week of interruption where there would already have been time for the total depassivation of the reinforcement. More chloride ions

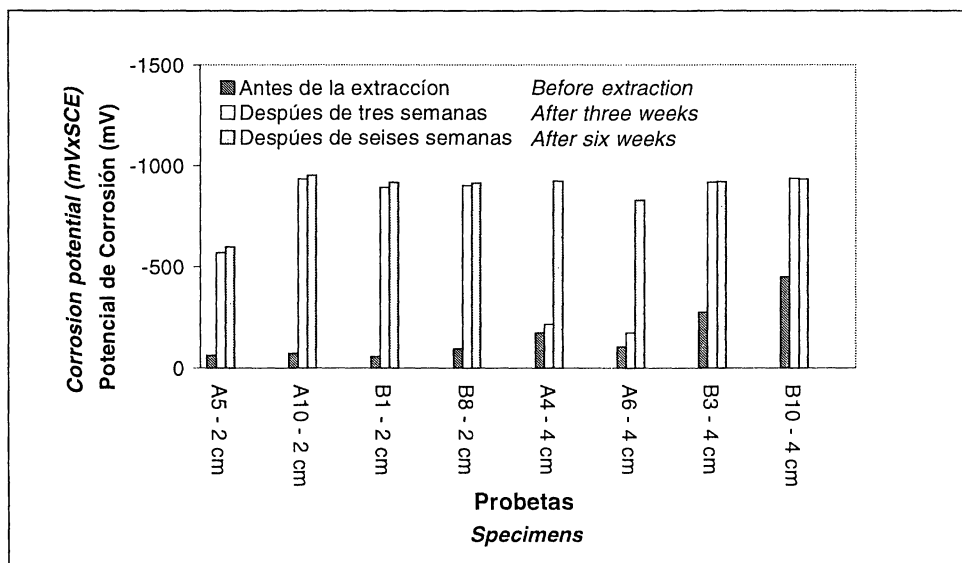


Figura 3.- Potencial de corrosión de las probetas.

Figure 3.- Corrosion potential of the specimens.

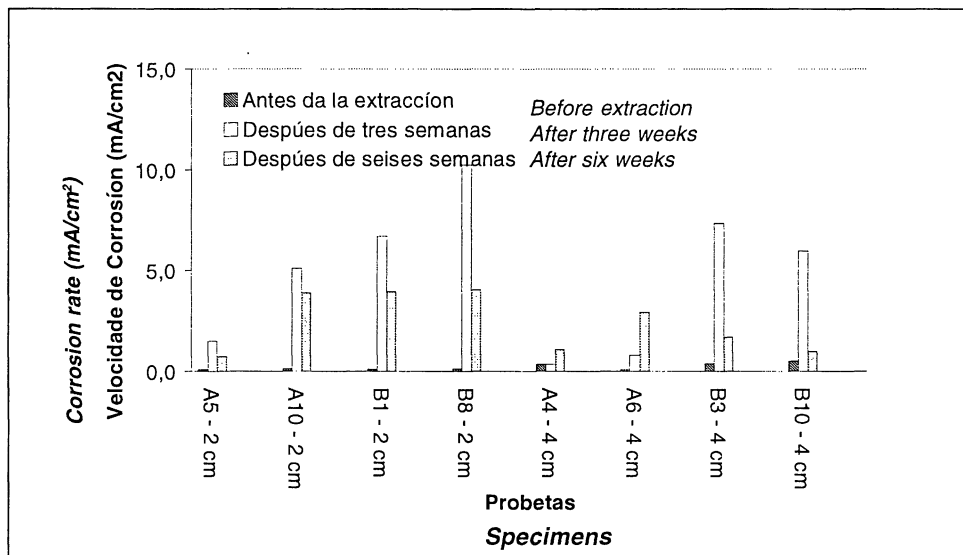


Figura 4.- Velocidad de corrosión de las probetas.

Figure 4.- Corrosion rate of specimens.

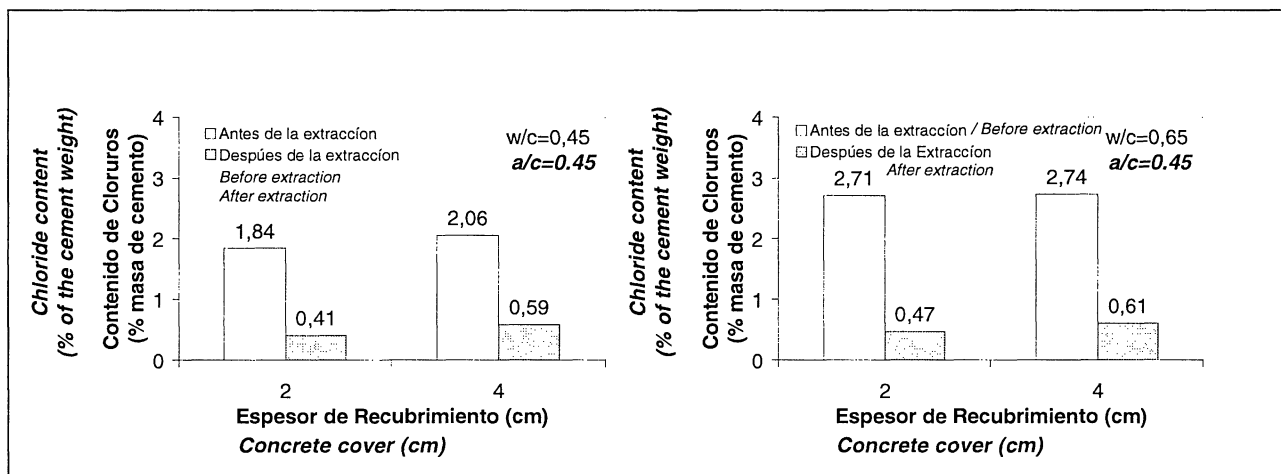


Figura 5.- Influencia del espesor de recubrimiento en el contenido de cloruros durante la extracción de cloruros.

Figure 5.- Influence of concrete cover on the chloride content during the electrochemical chloride extraction.

refuerzo. Fueron encontrados más cloruros cerca del refuerzo que los encontrados en la tercera medida, que fue hecha después de otro ciclo de dos semanas de tratamiento y una semana de interrupción. Aquí, el contenido del cloruro es más bajo de 0,4% en lo referente a la masa del cemento, según lo demostrado en el perfil de cloruros (Figura 7).

### 3.2. La influencia del espesor de recubrimiento en la extracción de cloruros

Obsérvese en la Figura 5 que el contenido final de cloruros observado es mayor de 0,4%, que es el límite más bajo del riesgo (9), porque las muestras tomadas para el estudio fueron hechas a 0,5 centímetros de la superficie. Al lado del refuerzo, el contenido de

were found near the reinforcement than found in the third measurement, which was done after another cycle of two weeks' treatment and one week of interruption. Here the chloride content is lower than 0.4% in relation to the cement mass, as shown in the chloride profile on Figure 7.

### 2.2. The influence of concrete cover in chloride extraction

Note in Figure 5 that the final chloride content observed is greater than 0.4%, which is the lower risk limit (9), because the samples taken for the study were taken at 0.5 cm from the surface. Next to reinforcement,

cloruros estaba debajo de ese límite, como se demuestra en el perfil de cloruros (Figura 7).

### 3.3. Influencia da relación agua/cemento en la extracción de cloruros

La influencia de la relación agua/cemento en la eficacia de la extracción electroquímica de cloruros se muestra en la Figura 6. El hormigón con relación agua/cemento 0,65 da una concentración inicial más alta de cloruros debido a su porosidad más alta. Por esta misma razón, esta técnica específica es muy eficaz para los hormigones con esta relación a/c. La eficacia del tratamiento es también mejor para este hormigón.

### 3.4. Determinación del perfil de cloruros

Los perfiles de cloruros se muestran en la Figura 7. Obsérvese que cuanto más cercano al refuerzo, más pequeño es el contenido de cloruros. Este resultado podía ser debido a tres factores: 1) la intensidad del campo eléctrico cerca de la barra es más alto, teniendo en cuenta la mayor eficacia en la extracción de los cloruros de la superficie del refuerzo, 2) el contenido de cloruros, medido en volumen, al lado de la superficie puede contener los iones que partieron de áreas más profundas, pero que todavía no han salido de los poros del hormigón y 3) que los perfiles iniciales, antes de la extracción del cloruro, también tienen niveles más bajos de cloruros cuanto más cercano se está al refuerzo. Los perfiles iniciales se dan de acuerdo con la penetración de cloruros de una fuente externa.

## 4. CONCLUSIONES

1. La influencia de las variables espesor de recubrimiento y relación agua/cemento en términos de porcentaje de extracción de cloruros es igual, pero, para

chloride ions' content was below that limit, which is shown on the chloride ions profile shown in Figure 7.

### 3.3. Influence of water-to-cement ratio on the chloride extraction

The influence water-to-cement ratio on the efficiency of the electrochemical chloride extraction is shown in Figure 6. Concrete with a 0.65 w/c ratio exhibits a higher initial chloride ions concentration because of its higher porosity. For this same reason, this specific technique is very effective for concretes with this w/c ratio. Treatment's efficiency is also better for this concrete.

### 3.4. Determination of the chloride profile

The chlorides profiles are shown in Figure 7. Note that the closer to the reinforcement, the smaller the chloride content. This result could be due to three factors: 1) the electric field intensity near to the bar is higher, allowing for greater efficiency in extracting the ions from the surface to the reinforcement, 2) the chloride content measured in the volume next to the surface may contain ions that migrated from deeper areas but have not yet left the concrete pores and 3) that the initial profiles, prior to the chloride extraction, also have lower chloride levels closer to the reinforcement. The initial profiles are consistent with chloride penetration from an external source.

## 4. CONCLUSIONS

1. The influence of the thickness of the concrete cover and w/c ratio variables in terms of percent of chloride removal are the same, but in the opposite direction, i.e.,

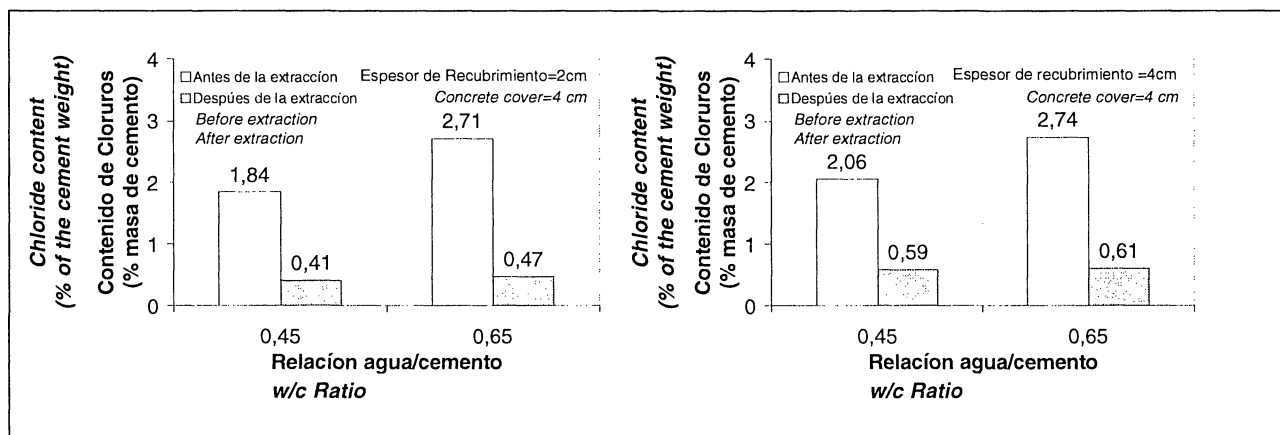


Figura 6.- Influencia da relación agua/cemento en el contenido de cloruros durante la extracción de cloruros.

Figure 6.- Influence of w/c ratio on chloride content during the electrochemical chloride extraction.



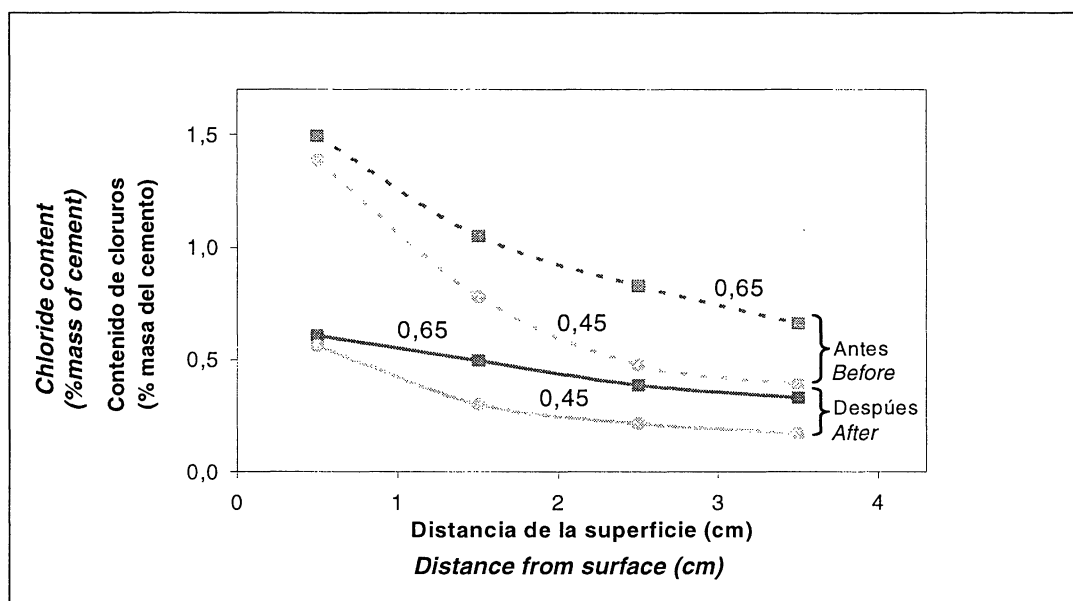


Figura 7.- Perfiles de cloruros referentes a la superficie del hormigón.

Figure 7.- Chlorides profiles relating to the concrete surfaces.

las probetas con espesor de recubrimiento más grueso, el porcentaje de la extracción de cloruros es más bajo; para las probetas con relaciones agua/cemento más altas, el porcentaje de los cloruros extraídos es más alto.

2. Una vez que se haya aplicado el tratamiento, hay gran dificultad en el reestablecimiento del potencial del circuito abierto de los aceros debido a el uso de la polarización catódica; esto es cierto cuando el hormigón está casi saturado. Este resultado puede imposibilitar usar esta técnica en localizaciones donde la humedad es alta o en los ambientes marítimos, ya que las barras se quedan fuera del estado de la pasividad por un tiempo demasiado largo.

3. En resumen, el 77% de cloruros dentro del hormigón que fue extraído inicialmente, dio un resultado mejor que los obtenidos en investigaciones anteriores, que también utilizaron  $1 \text{ A/m}^2$  de densidad de corriente, pero cerca de las armaduras fue extraído solamente el 50%.

4. Se observó que uno de los problemas surgidos con el uso de esta técnica está relacionado sobre los cloruros que existentes detrás del refuerzo, ya que es muy difícil sacarlos hacia fuera. Descubrimos que cuando hay mucha contaminación es difícil parar la corrosión.

*for specimens with thicker concrete covers, the percentage of chloride removal is lower; for specimens with higher w/c ratios, the percentage of chloride ions removed is higher.*

*2. Once the treatment has been applied, there is great difficulty in re-establishing the bar's open circuit potential because of the application of cathodic polarization; this is especially true when the concrete is next to saturation. This result may preclude using this technique in locations of high humidity or maritime environments because the bars are kept out of the passivity state for far too long a time.*

*3. On average, 77% of chloride ions initially inside the concrete were removed, a much better result than obtained in previous research that also used a  $1 \text{ A/m}^2$  of concrete current density, but near the rebars it was removed only 50%.*

*4. It was observed that one of the problems with this technique is about the chlorides that are behind the reinforcement, because it is very difficult to take them out. We found out that when there is a lot of contamination it is difficult to stop the corrosion.*

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) P. Helene., and P. J. M. Monteiro: Can local repairs be durable solution of steel corrosion in concrete? In: Swamy, R. N. ed. Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete. Sheffield: Sheffield Academic Press (1994). pp.1489-1499.
- (2) Lankard et al.: Neutralisation of chloride in concrete. Report No. FHWA-RD-76-60 (1975), pp. 1-143.
- (3) Morrison, G.L., Virmani, Y.P., Stratton, F.W., and Gilliland, W. J. Chloride removal and monomer impregnation of bridge deck concrete by electro-osmosis. Report No. FHWA-KS-RD-74-1, (1976), pp. 1-41.
- (4) Marcotte, T. D., Hansson, C. M., and Hope, B. B. The effect of the electrochemical chloride extraction treatment on steel-reinforced mortar. Part I- Electrochemical measurements. Cement and Concrete Research, 29 (1999), pp. 1555-1560.
- (5) P. J. M Monteiro., P. Helene, and S. Kang: Designing concrete mixtures for strength, elastic modulus and fracture energy. Materials and Structures, 26, 162 (1993), pp. 443-452.
- (6) American Society For Testing And Materials. Standard method of Salt spray (fog) testing. ASTM B 117. In: Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia (1979).
- (7) Stern, M., and Geary, A.L.. Electrochemical polarization. 1. A theoretical Analysis of the shape of polarization curves. Journal of the Electrochemical Society, V. 104, No. 1, Jan. (1957), pp. 56-63.
- (8) Andrade, C., Monitoring techniques. In: P. Schiessl, ed. Corrosion of Steel in Concrete. RILEM Report of Technical Committee 60-CSC. London, Chapman & Hall (1988) pp. 79-94.
- (9) Comité Euro-International Du Béton CEB Durability of Concrete Structures. Lausanne (1984) (Bulletin D'Information, n. 152).

\* \* \*



## XVI Curso de Estudios Mayores de la Construcción

Madrid, 23 de febrero al 25 de junio de 2004

### NUEVAS TENDENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN

#### *El enfoque por objetivos y prestaciones*

Desde el año 1956 el **Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc)**, viene realizando, a través del Curso de Estudios Mayores de la Construcción, CEMCO, una labor de formación y difusión científico-tecnológica en el área de la Construcción y sus Materiales. La decimosexta edición (año 2004), de este Curso MASTER, teórico-práctico, **NUEVAS TENDENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN. EL ENFOQUE POR OBJETIVOS Y PRESTACIONES**, que organiza el IETcc-CSIC, cuenta con la inestimable colaboración de diversas Entidades y Empresas del sector de la Construcción.

En el curso CEMCO 2004 se plantea abordar las nuevas tendencias de la construcción desde el enfoque de los objetivos y las prestaciones. Dividido en cuatro áreas temáticas: *"Innovación y reglamentación"*, *"Seguridad y Estructuras"*, *"Vida útil"* y *"Habitabilidad y Medio Ambiente"*.

El programa propuesto para esta nueva edición del curso CEMCO ha sido diseñado para graduados universitarios que se dediquen al sector de la construcción. La variedad de la temática propuesta y la participación de profesores españoles y extranjeros, del campo de la investigación, de universidades y de empresas servirán al participante para ampliar sus conocimientos sobre los avances que han experimentado en el campo de la construcción, sus materiales y sus técnicas

El doble enfoque teórico-práctico y la posibilidad de los participantes de realizar un tema monográfico, dentro de alguno de nuestros equipos de investigación, les permitirá hacer, de un curso general, uno más acorde con sus necesidades e intereses particulares, resultando, así, de interés, tanto para recién graduados como para profesionales con experiencia en alguna de las áreas propuestas.

Aquél que desee una mayor información puede consultar: <http://www.ietcc.csic.es/cemco/cemco2004.html>  
e-mail: [cemco@ietcc.csic.es](mailto:cemco@ietcc.csic.es)