



# Corrosión de las armaduras en el hormigón armado

Por el Prof. Ing. PAULO ROBERTO DO LAGO HELENE

(Conclusión) (\*)

## 10. ALGUNOS DETALLES CONSTRUCTIVOS

Siendo el fenómeno de la corrosión de armaduras dependiente de la calidad y uniformidad del recubrimiento de hormigón es natural que las técnicas constructivas empleadas en la ejecución de la estructura también determinen una mayor o menor protección ofrecida por el hormigón en cuestión.

No se trata en este capítulo de describir y recordar de forma exhaustiva todos los aspectos que deben tomarse en cuenta en la ejecución de los encofrados, doblado y montaje de las armaduras, mezcla, transporte, vertido, vibración, curado, etc.

Los cuidados mínimos a seguir en la ejecución de una obra están en todos los manuales de ingeniería y aún en el propio texto de algunas de las normas más completas, tales como la NB-1/78. Son «reglas de bien construir» que deben seguirse siempre, por lo cual, aquí, nos limitaremos a comentar algunos aspectos de mayor interés, relativos al problema de la corrosión.

---

(\*) Véase CEMENTO-HORMIGON, n.º 591 febrero, págs. 175 a 195, n.º 592 marzo, págs. 282 a 308, 1983.

### 10.1. Almacenaje de barras y alambres de hierro

Según se vio, la textura superficial de la armadura puede contribuir a la aceleración de la corrosión. Por ello se explica que las barras nervadas sean más corrosibles que las lisas. Cuanto mayor el número de estrías y muescas mayor es la superficie expuesta y mayores los riesgos de condensación de la humedad. Por ello, los haces de barras más finas y las de textura superficial más «recortada», deben almacenarse con mayor cuidado, preferentemente en locales protegidos y nunca en contacto directo con el suelo. En atmósferas industriales, en la Gran São Paulo, es común corroerse las barras apenas con un mes de mal almacenaje.

Usando el mismo raciocinio y recordando que durante la fabricación del acero se da la formación de una película (calamina de laminación) adherente de óxido, relativamente protectora de la superficie de la armadura, los cuidados en el almacenamiento de acero ya cortado y doblado deben triplicarse en relación con las barras no dobladas. El doblado ocasiona la ruptura de la antedicha película, originando focos de distinta naturaleza superficial y causando la formación de pilas o células de corrosión.

Es conveniente proteger las armaduras de la deposición superficial de hollín, polvo y cualquier otro tipo de suciedad que pueda contribuir a la condensación y retención del agua de lluvia —generalmente ácida— sobre la superficie de la armadura, suministrando el electrólito necesario para la aparición de las pilas de corrosión.

### 10.2. Utilización de barras y alambres corroídos

Según experiencias de *Calavera* (34), la adherencia al hormigón de las barras corroídas, sea cual sea el grado de corrosión, es siempre mejor que en las barras no corroídas. Esto puede explicarse por la mayor superficie de contacto ofrecida por la barra corroída en relación a la no corroída.

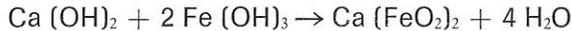
Algunos autores consideran perjudiciales a la adherencia los productos de corrosión (costras) despegables ya existentes en la superficie de las barras. En este caso debe exigirse la limpieza con cepillos de acero, chorro de arena o procesos equivalentes, antes del hormigonado.

Más importante que la remoción de dichas costras por razones de adherencia —lo cual es siempre justificable— parece ser la necesidad de una comprobación experimental de la no alteración de la capacidad resistente de la armadura.

Como es sabido, la corrosión disminuye el área de la sección de la armadura y como el proceso es predominantemente electroquímico puede

ocurrir que en los sectores donde la corrosión haya sido más intensa y, en consecuencia, haya reducido el diámetro inicial de la barra. Quizá sea caso de aceptarla como si fuera de un calibre inferior, sin exigir cualquier limpieza, pero sí algunos ensayos de tracción.

Sobre el riesgo de que prosiga la corrosión dentro del hormigón cuando la barra ya estaba corroída, parece no existir. Según *Petrocokino* (10) en un medio fuertemente alcalino, en presencia de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , la herrumbre se transforma en ferrato cálcico, que es una sal blanca y estable, según la reacción:



### 10.3. Efecto de pared

Por efecto de pared se entiende el transporte de mortero junto a las superficies límites que restringen al hormigón, tales como encofrados y armaduras. Este movimiento tan sólo se logra a costa del empobrecimiento de la masa en las partes interiores del hormigón (11).

Piezas con mucha densidad de armaduras, donde sea elevada la relación superficie/volumen tienden a presentar espacios con vacíos o, cuando menos, con baja proporción de mortero, porque éste se concentró a lo largo de una superficie, según se muestra en la *figura 16*.

En efecto, la pared o superficie límite influye en la compacidad pues la cantidad de mortero necesaria para llenar el espacio entre las partículas mayores del árido y la pared es mayor que en el interior de la masa y, por lo tanto, es necesario prever un exceso de mortero en el hormigón sometido a dichas condiciones, que estaría bien proporcionado para una masa

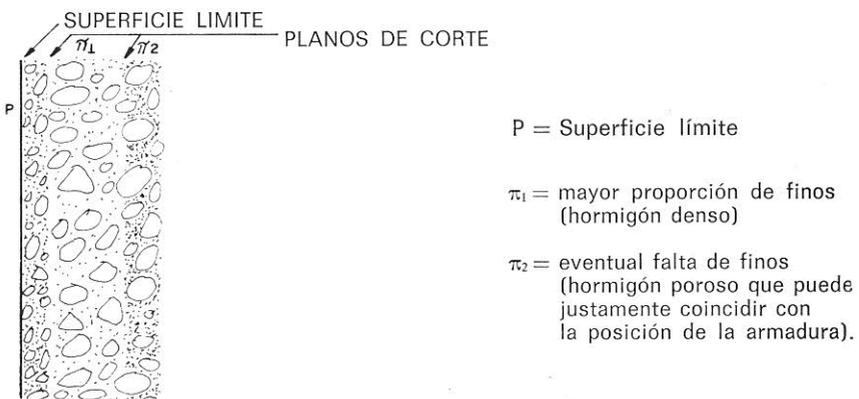


Figura 16. — Efecto de pared. (Coutinho, 1973) (11).

indefinida. Este exceso será tanto más acusado cuanto mayor sea la relación entre la superficie de la pieza y su volumen.

Un fenómeno semejante puede ocurrir al comienzo del vertido del hormigón en una pieza o encofrado estrecho y densamente armado. Antes del vertido la armadura y los encofrados están limpios. Después del vertido de una cierta cantidad de hormigón ya están «sucias» de mortero, manteniéndose así en los próximos vertidos. Ahora bien, el mortero que quedó retenido en encofrados y armaduras inicialmente, ciertamente se echará de menos en el hormigón. Por consecuencia, los pies de pilares, juntas de hormigonado, etc. son, generalmente, más porosas por falta de mortero que se quedó por el «camino». La mejor solución es preparar un hormigón con más mortero, o bien verter una capa inicial sólo de mortero (igual al del hormigón) antes de verter el hormigón normal.

#### 10.4. Pastillas

Recordando que el acero para hormigón armado y pretensado estará pasivado y protegido de la corrosión cuando esté en un medio fuertemente alcalino, propiciado por las reacciones de hidratación del cemento, debemos procurar que se cumplan los recubrimientos mínimos especificados en el proyecto de estructura.

Este recubrimiento puede garantizarse con el empleo de *pastillas* uniformemente distribuidas al largo del componente estructural. El espaciamiento entre ellas y su frecuencia será función del espesor (rigidez) de la armadura en cuestión y de la naturaleza del componente estructural. Es necesario un mayor número de pastillas en una placa, que servirá de «pista» de movimiento de personal y materiales, que en un pilar o viga de hormigón.

Las *pastillas* pueden ser de distintas naturalezas, siendo las de mortero las más indicadas debido a su mejor adherencia con el hormigón. Más importante parece ser la uniformidad del recubrimiento, puesto que si éste varía, también puede variar la alcalinidad del hormigón de un sitio a otro próximo, originando pilas de corrosión electroquímica por concentración y aireación diferencial.

Se tienen los siguientes tipos de *pastillas* (35):

- a) Pastillas de mortero: Son las más baratas y las más empleadas. Se pueden preparar directamente en la obra con el auxilio de moldes de madera, de isopor (cajas para huevos), de plástico (moldes de cubitos de hielo), etc.

Tratándose de un material que deberá proteger la armadura, garantizando un recubrimiento mínimo a éste, el mortero de su confección debe ser comparable en calidad (resistencia, permeabilidad, higroscopicidad y dilatación térmica) al hormigón de la obra. Se han conseguido pastillas de mortero de buena calidad, empleando la misma dosificación del hormigón, retirando simplemente los áridos gruesos y parte del agua de amasado. Además del material de preparación es esencial garantizar una densificación mecánica o manual eficiente y equivalente a la que se aplica al hormigón destinado a la obra. Por último la calidad final de la pastilla debe conseguirse por medio de un curado prolongado y adecuado, a la sombra.

La relación agua/cemento no debe sobrepasar 0,5 y ni ser la dosificación inferior a 1:3 en masa de materiales secos.

- b) Cordones de mortero: Para facilitar el montaje de una armadura se puede recurrir al empleo de cordones de mortero moldeados, adensados y curados directamente sobre la base de hormigón magro. Estos cordones, espaciados según la densidad y el diámetro de las armaduras, facilitan la ejecución y garantizan el recubrimiento mínimo exigido. En la preparación de estos cordones es aconsejable el empleo de moldes fijos, laterales, que permitan una compactación mecánica eficiente.
- c) Pastillas plásticas: Se hallan en el mercado para varios calibres de acero y diversas opciones de recubrimiento. Son de fácil manejo, teniendo, por contra, las desventajas del precio y de su mediocre adherencia al hormigón.

En lo que respecta a la fisuración hay que señalar que es baja la trabazón en la superficie de contacto hormigón/plástico debido a la retracción hidráulica del hormigón y a los distintos coeficientes de dilatación térmica de ambos materiales.

Las pastillas pueden colocarse según se indica en la *figura 17* (36).

El lugar más conveniente para la fijación de dichas pastillas es el cruce de barras de armaduras de modo que cada punta de alambre pase por cada uno de los 4 ángulos que se forman, evitándose de esta forma desplazamientos de la pastilla en cualquier dirección.

### 10.5. Espaciadores de encofrados

Los espaciadores más comunes pueden ser de dos tipos, según se indican en la *figura 18* (35).

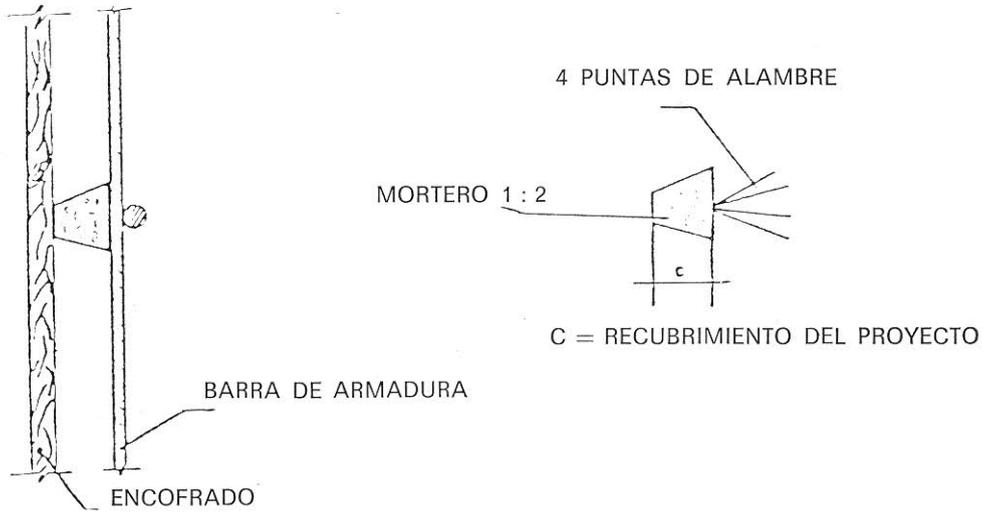


Figura 17.—Detalle de colocación de pastillas (Terzian, Sardinha y Helene, 1980) (36).

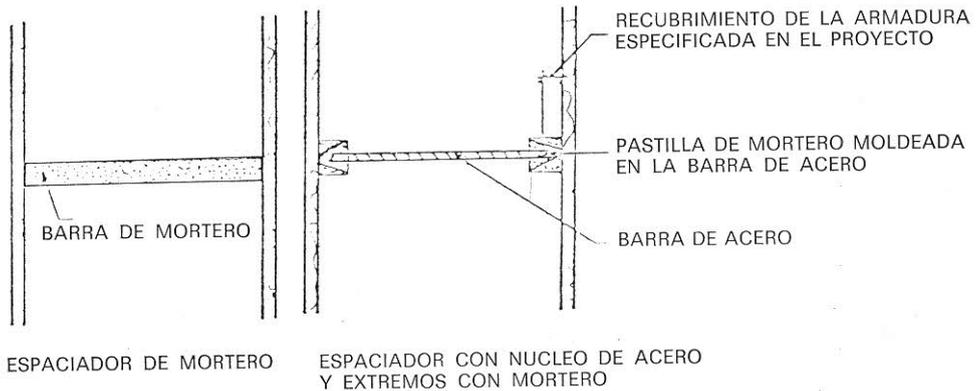


Figura 18.—Espaciadores de encofrados (Dantas, 1979) (35).

Los fijadores con núcleo perdido son los más empleados en obras donde se corre el riesgo de percolación de agua a través de paredes de hormigón tipo cortina (35).

Su colocación consiste en acoplar un núcleo de acero (en el espacio permitido hasta el recubrimiento de las armaduras especificadas en el proyecto) roscado a un trozo también de acero y fijado de forma que impida su abertura o cierre. Después del hormigonado, se desatornilla el segmento saliente, dejando el núcleo de acero perdido en la masa de hormigón. Para evitar problemas en la retirada del tornillo se recomienda que la tuerca del núcleo perdido contenga toda la rosca del tornillo, según se ve en la figura 19 (36).

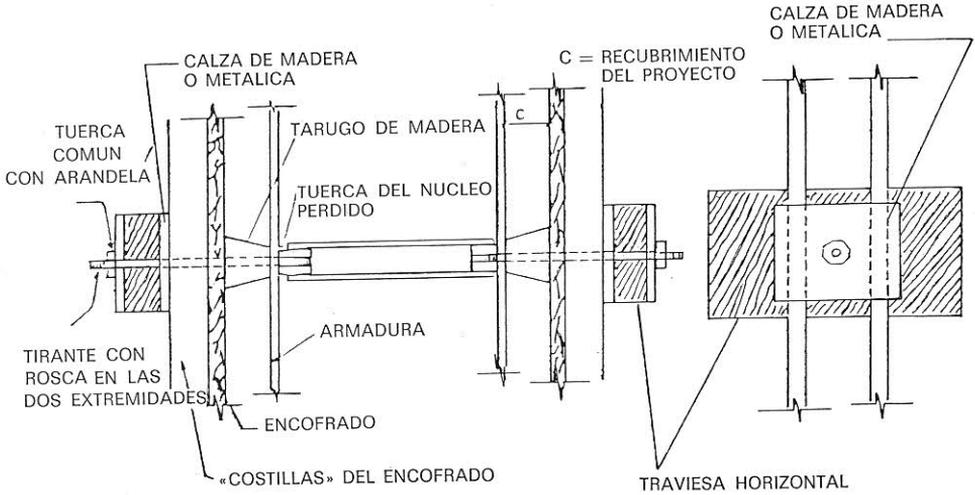


Figura 19. — Espaciador y fijador de encofrados (Tezian, Sardinha y Helene, 1980) (36).

La colocación de cualquier tipo de espaciador, o fijador de encofrados, debe obedecer todavía su no proximidad al tope de la tongada de hormigonado, pues el acomodo inherente a la masa de hormigón en el asiento, encuentra el dispositivo y forma debajo de él vacíos que también facilitan la percolación de líquidos agresivos para las armaduras.

## 10.6. Curado

El curado apropiado de la superficie del hormigón es uno de los factores de mayor importancia para garantizar la calidad del hormigón de recubrimiento.

La ausencia de curado no sólo aumenta la permeabilidad del componente estructural como un todo, sino que, principalmente, crea una serie de canaliculos superficiales en el hormigón, justamente en un espesor del orden del recubrimiento. Todos los fenómenos de permeabilidad al agua, gases, absorción de agua, retención de hollín, difusión de elementos agresivos, etc., se intensificarán comprometiendo la protección de la armadura.

Según Lerch (37) la pérdida de agua superficial del hormigón puede alcanzar valores de 0,5 kg de agua por hora y por m<sup>2</sup> de superficie expuesta, estando el hormigón y el ambiente a 21 °C, con humedad relativa de 50 % y un viento de 5,5 m/s (~ 16 km/h). Para la H.R. de 90 % la pérdida se reduce a tan sólo 0,1 kg. Con 70 % de H.R. al pasar de 21 °C a 38 °C podemos tener un aumento de 0,3 a 0,9 kg por m<sup>2</sup> y por h de pérdida de agua. En dichas condiciones adversas, considerando una placa de 100 m<sup>2</sup>, con

un espesor de 10 cm, fundida en hormigón de 180 kg de agua por m<sup>3</sup>, en 20 h, toda el agua se habría evaporado de la placa. Evidentemente, una parte ya estaría combinada y otra parte quedaría siempre presente debido al equilibrio de las tensiones de vapor, sirviendo el ejemplo para señalar la importancia del curado, principalmente porque debido a las reacciones de hidratación, el hormigón fresco está con temperaturas por encima del medio ambiente, lo cual agrava todavía más el fenómeno.

Esta evaporación acentuada puede causar fisuración de las superficies del hormigón. Las fisuras de origen plástico, debidas a la retracción por evaporación precoz, en general alcanzan profundidades de hasta 10 cm (37) lo que señala la importancia del curado, iniciado cuanto antes posible, después de la compactación de la masa. Lo más grave parece ser el secado diferencial. Mientras que las superficies expuestas pierden agua por evaporación —fenómeno rápido— y se retraen, pero en las partes más al interior, el movimiento del agua es por difusión —fenómeno más lento— causando variaciones de volumen incompatibles.

Puede ser que tan sólo ocurra una microfisuración superficial por efecto de dicha retracción de secado abriendo vías para la penetración de agentes agresivos. Si la estructura estuviera en una atmósfera seca podría faltar el agua necesaria para la hidratación completa del cemento (principalmente si fuera de alto horno (AF) o puzolánico (POZ) resultando un hormigón con una capa superficial más porosa y menos resistente, capa ésta, donde más se desea compacidad, puesto que a ella se le asigna el papel de proteger la armadura.

En el caso de placas, el curado correcto es de ejecución relativamente fácil, bastando formar una lámina de agua con una altura del orden de 3 cm. También se puede cubrir la superficie con arena húmeda, serrín, algodón, yute o cualquier otro material que retenga el agua. No obstante se recomienda el simple vertido de agua, manteniendo la operación durante un tiempo no inferior a 30 días. Ello evita el resecamiento superficial y movimientos perjudiciales por efecto de la dilatación térmica y de la retracción por secado. En regiones muy calientes y secas, el curado ya debe comenzar antes de terminado el hormigonado lo que puede hacerse con auxilio de sacos de harpillera, o mantas plásticas, siendo éstas, preferentemente de color blanco o transparentes, nunca negras.

En regiones muy calientes, secas y ventosas, es aconsejable el empleo de una niebla de agua, obtenida, por ejemplo, con el auxilio de bocas de riego conectados a mangueras colocadas en puntos estratégicos de la estructura cuando se está hormigonando. Esta niebla, tan sólo empleada durante el hormigonado, puede suprimirse después de formada la lámina de agua del curado final (36).

En la imposibilidad de emplearse el mejor agente del curado que es el agua potable y agua de cal, se pueden emplear membranas impermeables de curado. Son productos obtenidos por soluciones o emulsiones acuosas de resinas y parafinas que se depositan durante un cierto plazo (de 3 a 4 semanas) sobre la superficie del hormigón impidiendo la desecación prematura. Así, después de este período, son naturalmente destruidas o arrastradas por la acción de la intemperie, restableciéndose la superficie natural del hormigón.

En ciertos casos de empleo de cemento de endurecimiento lento —de tipo alto horno o puzolánico— puede aconsejarse la aplicación de una segunda mano, espaciada en 15 días.

Cuando se trata de desencofrado precoz, en que la superficie del hormigón se expone a los rayos solares en edades muy bajas, como, por ejemplo, en los casos de moldes deslizantes o de prefabricados, el curado debe ser inmediato, con independencia del procedimiento adoptado.

Los elementos estructurales, del tipo paredes de hormigón armado, donde dos dimensiones predominan sobre una tercera, el riesgo de la aparición de fisuras causadas por la retracción del secado es siempre muy alto. En dichos casos la fisura atraviesa la pared comprometiendo la estanqueidad de la estructura, la durabilidad de las armaduras y causando perjuicios estéticos. Un curado adecuado es imprescindible.

### **10.7. Protección temporal de los arranques**

Toda armadura embebida en hormigón con el fin de garantizar el anclaje con el trozo siguiente de hormigonado, debe ser convenientemente protegida, principalmente en obras paradas o lugares donde habrá demora en el recomienzo del hormigonado.

Esta protección puede realizarse fácilmente con pintura de lechada de cemento sobre las armaduras. Cuando se reemprenda el hormigonado bastará levantar esta pintura con unos cuantos golpes estratégicos contra la armadura o bien con un chorro de agua.

Si recordamos que algunas pinturas especialmente desarrolladas para la protección temporal del hierro, tales como el minio, apenas duran de 5 a 8 meses (1), advertimos que esta película de lechada debe ser renovada periódicamente, por ejemplo cada 15 días en atmósferas marinas.

## **11. PROPUESTA Y GUIA PARA DEFINIR EL RECUBRIMIENTO**

Considerando que el problema de la corrosión de las armaduras está directamente relacionado con el problema económico, se procura presentar

en este capítulo una metodología general que sirva para la elección del recubrimiento adecuado de hormigón, admitiendo que éste debe ser el menor posible. Salvo rarísimas excepciones lo más económico es que se especifique el menor recubrimiento eficaz de hormigón.

A medida que se aumenta el recubrimiento de hormigón, en general:

a) aumentan:

- los riesgos de fisuración superficial del hormigón;
- las dimensiones exteriores de las piezas, mantenida una misma capacidad total de resistencia mecánica;
- la dificultad de ejecución de las piezas y la manutención del recubrimiento;
- el volumen de las piezas (lo cual es crítico en los prefabricados);
- el coste de la estructura;
- *la protección de la armadura;*

b) disminuyen:

- la eficiencia del papel de la armadura en el hormigón armado;
- la capacidad total de resistencia mecánica de la pieza, mantenidas las mismas dimensiones externas.

Los diversos órganos y entidades normativas internacionales, recomiendan en sus normas y documentos los valores mínimos de recubrimiento adecuado a cada situación de la exposición de la estructura al medio ambiente, haciendo referencia, en algunos casos, a la composición del hormigón.

Creemos que, además, deben tenerse en cuenta otros factores, tales como la consideración de diferentes atmósferas (factores regionales), la micro-región de la estructura donde se sitúa la pieza o componente estructural, naturaleza de la sollicitación mecánica a que estará sometida (particularmente cíclica o estática) y calidad de las técnicas constructivas empleadas en la obtención del componente.

Evidentemente son éstos los factores principales que debieran tenerse en cuenta en la prevención de la corrosión. Hay otros, aparte de que es extremadamente difícil cuantificar cada uno de ellos por separado y mucho más interpuestos entre sí.

Como referencia se presentan los recubrimientos exigidos por algunas entidades reputadas: *ACI*, *BSI*, *DIN*, *FIP* y *PCI* con el fin de señalar cuán contradictorio es el tema y lo diferente que es el grado de profundidad de cada norma.

Algunas instituciones, como la *BSI* se preocupan en identificar cada micro-región, cada atmósfera, cada elemento constructivo (si prefabricado, o pretensado, armado, para vivienda o de uso general, etc.) llegando inclusive a especificar la naturaleza del cemento, la relación agua/cemento, el contenido de cloruros del hormigón y hasta su resistencia a la compresión.

En Brasil, la ABNT hasta 1978 mientras vigoró la NB-1/60 recomendaba que la protección de las armaduras debiera obedecer a:

«Todas las barras de la armadura, principal o no, deben tener un recubrimiento de hormigón nunca menor que:

en placas y paredes en el interior de edificios . . . . .	1 cm
en placas y muros al aire libre . . . . .	1,5 cm
en vigas, pilares y arcos en el interior de edificios . . . . .	1,5 cm
en vigas, pilares y arcos al aire libre . . . . .	2 cm
en elementos en contacto con el suelo . . . . .	2 cm

En este último caso se exige, al lado de la armadura calculada para resistir a esfuerzos de tracción, si el suelo no fuese rocoso, la interposición de una capa de hormigón simple, no computada en el cálculo, con un espesor mínimo de 5 cm.

En placas en el interior de edificios, se permite que 0,5 cm del recubrimiento sea ejecutado con mortero (\*).

«Deben tomarse medidas especiales de protección siempre que elementos de la estructura estén expuestos a la acción perjudicial de agentes externos, tales como ácidos, álcalis, aguas agresivas, aceites y gases nocivos, altas y bajas temperaturas.»

A partir de octubre de 1978 entró en vigor la nueva redacción según la norma NB-1/78, que es la siguiente:

«Cualquier barra de armadura, incluso de distribución, de montaje y estribos, debe tener un recubrimiento de hormigón de, por lo menos, igual a su diámetro, nunca menor que:

(\*) En el original «embôço», que es la primera capa de mortero que se aplica a una pared en su revoque. Por extensión hormigón o mortero magro. (N. del T.)

a) para hormigón revestido con mortero de un espesor mínimo de 1 cm:

- en placas en el interior de edificios . . . . . 0,5 cm
- en paredes en el interior de edificios . . . . . 1,0 cm
- en placas y muros al aire libre . . . . . 1,5 cm
- en vigas, pilares y arcos en el interior de edificios . . . . . 1,5 cm
- en vigas, pilares y arcos al aire libre . . . . . 2,0 cm

b) para hormigón aparente

- en el interior de edificios . . . . . 2,0 cm
- al aire libre . . . . . 2,5 cm

c) para hormigón en contacto con el suelo . . . . . 3,0 cm

- si el suelo no fuera rocoso, debajo de la estructura deberá interponerse una capa de hormigón simple, no considerada en el cálculo, con una dosificación mínima de 250 kg de cemento por metro cúbico y un espesor de por lo menos 5 cm.

d) para un hormigón en medio fuertemente agresivo . . . . . 4,0 cm

Para un recubrimiento mayor de 6 cm se debe colocar una armadura externa complementaria, de red, cuyo recubrimiento no debe ser inferior a los límites especificados en este párrafo.

En el caso de estructuras que deban ser resistentes al fuego, el recubrimiento deberá cumplir con las exigencias de la *NB-503* además de las especificadas en este párrafo.

Medidas especiales:

Además del cubrimiento mínimo, se deberán tomar medidas especiales si el hormigón estuviera sometido a la abrasión, a altas temperaturas, a corrientes eléctricas o a agentes fuertemente agresivos, tales como ambiente marino y agentes químicos.»

Como se comprueba en este texto, ya se observa una gran evolución en relación al anterior. Desdichadamente el gran problema es asumir estos

valores como absolutos cuando, en realidad, no lo son, ni lo pueden ser, a pesar del subentendido del texto.

Una de las preguntas que se pueden formular es: ¿Cuál es el hormigón (tipo de cemento, dosificación, relación agua/cemento, etc.) a que se refieren estos recubrimientos?

Como ya señalamos en los párrafos anteriores la calidad del hormigón es uno de los factores más importantes a considerar en la prevención de la corrosión. Una variación de la relación agua/cemento de 0,5 a 0,9 puede multiplicar por 10 la profundidad de la carbonatación.

Otra pregunta podría ser: ¿Cuál es la atmósfera (ambiente) que envuelve a la estructura?

Como ya se dijo antes, el pH del agua de lluvia puede variar de 3 a 6,5, según se precipite en atmósfera industrial o rural. Este hecho, por sí solo, puede traer consecuencias desastrosas y diferenciadas para las estructuras.

La *tabla 2* presenta una sugestión a modo de guía de cómo podría escogerse el recubrimiento de hormigón para garantizar la protección de la armadura. Nótese que no hay ninguna exigencia de que el recubrimiento sea igual o superior al diámetro de la barra considerada, exigencia formulada casi por todas las recomendaciones y normas consultadas (\*).

Parece que la razón para esto —además de la dificultad de la ejecución y llenado del espacio entre el encofrado y la barra— es la necesidad de un volumen mínimo de hormigón para la absorción de las tensiones tangenciales y la distribución de las tensiones de adherencia. No obstante, la corrosión de las armaduras finas es más peligrosa que la de las armaduras gruesas, puesto que se puede perder más rápidamente la sección resistente. Por lo tanto no hay por qué exigir siempre un recubrimiento mayor para una barra más gruesa, pero sí, principalmente, exigir en cada caso un recubrimiento de hormigón adecuado y compacto para ambas barras, finas y gruesas. Para tal fin se utilizan hormigones con áridos de dimensión característica máxima compatible con el «espacio» disponible, al mismo tiempo que deban tener la mayor proporción de mortero por  $m^3$ .

---

(\*) Albert Joisel en su obra «Les Adjuvants du Ciment-Physico Chimie Concernant le Béton et son Armature» publicado en 1973 — recomienda y justifica por razones mecánicas que el recubrimiento sea calculado como  $c = k \cdot \varnothing$ , donde  $k$  varía de 1 a 4 según sea el número de superficies libres del componente estructural. En el caso general de armadura junto a las aristas,  $c \geq 2 \cdot \varnothing$ .

**TABLA 2.— Recubrimiento mínimo de hormigón en las armaduras para estructuras de hormigón armado «Sugestión».**

Estructura situada en		Recubrimiento nominal* en mm para estructuras en atmósferas			
		Rural	Urbana	Industrial	Marítima
Locales al abrigo de la intemperie	locales secos (H.R. ≤ 70%) (salas, habitaciones, despachos, etc.)	≥ 5	≥ 15	≥ 20	≥ 20
	locales húmedos (cocinas, servicios, baños)	≥ 10	≥ 20	≥ 25	≥ 25
	locales húmedos con riesgo de condensación superficial (depósitos-agua dulce)	≥ 35	≥ 35	≥ 35	≥ 35
Locales al aire libre en contacto directo con la atmósfera e intemperie	regiones secas (H.R. ≤ 70%)	≥ 10	≥ 15	≥ 25	≥ 25
	regiones húmedas	≥ 15	≥ 20	≥ 25	≥ 25
	locales húmedos con riesgo de condensación superficial (cubiertas, sótanos, cavas)	≥ 30	≥ 35	≥ 40	≥ 50
Zonas semi-enterradas en ambientes agresivos (sujetos a salpicaduras, diferencias de aireación, etc.) con caída de presión	suelos no agresivos e impermeables (garages, pilares en planta baja)**			≥ 30	
	suelos marinos y agua de mar (puertos de mar, plataformas marítimas)***			≥ 50	
	aguas residuales (desagües y colectores)****			≥ 60	
	suelos y aguas sulfatadas (terrenos yesosos, depósitos industriales)**			≥ 50	
	suelos muy permeables-agua dulce (puertos fluviales)**			≥ 40	
Zonas completamente enterradas o sumergidas sin caída de presión	ambiente no agresivo			≥ 10	
	ambiente agresivo			≥ 40	
Zonas semi-enterradas con caída de presión	ambiente no agresivo			≥ 40	
	ambiente agresivo			≥ 60	

(\*) Recubrimiento nominal se refiere a hormigón aparente de cemento portland (EB-1 de la ABNT) o ARI (EB-2 de la ABNT), con relación agua/cemento 0,55 en masa, transportado, vertido y compactado dentro de las técnicas del bien construir y sobreentendiéndose un curado húmedo ideal e ininterrumpido por consecutivos.

(\*\*) Debe tener una capa mínima de 5 cm de hormigón magro entre el suelo y la estructura.

(\*\*\*) Obligatorio el uso de cemento POZ, AF, MRS y ARS (EB-208; EB-758 y EB-903 de la ABNT).

(\*\*\*\*) Para hormigones con áridos ácidos (granitos y gneis). En el caso de hormigones con áridos básicos (calizas) pueden reducirse en 20 mm.

El recubrimiento mínimo recomendable debiera, todavía, tener en cuenta los siguientes factores:

- 1.º Si va a haber revestimiento de superficie en el hormigón, este revestimiento puede considerarse en el total del recubrimiento, desde que el material empleado sea equivalente al hormigón que se protege. Por ejemplo revestimientos epoxi en espesores de 500  $\mu\text{m}$  pueden proteger eficazmente hasta las armaduras expuestas. Betunes y goma clorada en espesores convenientes también lo consiguen. De todas maneras nunca conviene rebajar el recubrimiento a menos de 5 mm, pues la propia resistencia mecánica de esta «película» de mortero puede resultar comprometida. Morteros mixtos de cal y cemento, con 20 mm de espesor puede que equivalgan a 10 mm de hormigón.
- 2.º Para hormigones preparados con cemento puzolánico (POZ-250 o POZ-320, según EB-758), con cemento de alto horno (AF-250 o AF-320, según EB-208) o con cementos MRS o ARS según EB-903, con relación agua/cemento  $\leq 0,55$  y desde que se sometan a un período de curado de, por lo menos, 40 días consecutivos, pueden reducirse 5 mm todos los recubrimientos sugeridos;
- 3.º Para hormigones curados adecuadamente pero apenas durante 10 días se deben aumentar en por lo menos 5 mm todos los recubrimientos sugeridos;
- 4.º Para relaciones agua/cemento superiores a 0,55 los recubrimientos sugeridos deben ampliarse por lo menos 5 mm.
- 5.º Cuando se trata de estructuras bajo la acción de cargas cíclicas y/o estructuras donde se admita de antemano la presencia de fisuras con abertura superficial máxima de 0,3 mm, los recubrimientos sugeridos deben aumentarse por lo menos 5 mm;
- 6.º Las estructuras que alberguen procesos industriales generadores de productos agresivos deben estudiarse separadamente;
- 7.º La clasificación de agresivos y no agresivos es muy relativa y se refiere, principalmente, a los contenidos de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , etc. citados en párrafos anteriores.
- 8.º Los recubrimientos se refieren a la distancia libre entre la armadura más externa y la superficie exterior límite del elemento estructural. Por lo tanto, en general, se refieren al cubrimiento del estribo, difícilmente al cubrimiento de la armadura principal. De ahí resulta no ser tan determinante un recubrimiento que deba distribuir las tensiones de adherencia de la armadura, además

de la protección contra la corrosión. Cuando la armadura principal sea de calibre grueso ( $> 20$  mm) la suma del recubrimiento más el diámetro del estribo debe ser, siempre, por lo menos igual a 20 mm de hormigón. En este caso no importa si estará o no revestido puesto que el problema también es de adherencia y no sólo de protección contra la corrosión. Finalmente cuando se trata de elementos encintados (pilares), el recubrimiento tan sólo tendrá la función de proteger la armadura. En este caso la protección puede asegurarse por hormigón o cualesquiera otros revestimientos.

- 9.º La decisión final del recubrimiento deberá también incluir una consulta a las fuentes de datos climatológicos y contaminantes específicos de la región donde se implantará la estructura.
- 10.º En situaciones de ambientes agresivos al hormigón (agua de mar, ácido sulfúrico de aguas residuales, etc.) el recubrimiento debe ser tal que, además de protección de la armadura, propicie una capa de «sacrificio» que, con el tiempo, podrá ser deteriorada por el medio.

## 12. RECUPERACION

La recuperación de este tipo de fenómeno patológico —la corrosión de las armaduras— es delicada y exige una mano de obra especializada. Consiste básicamente de tres etapas:

1. Limpieza rigurosa, preferentemente con chorro de arena y repicado de todo el hormigón suelto o fisurado, incluso de las capas de óxidos/hidróxidos de las superficies de las barras.
2. Análisis juicioso de la posible reducción de la sección transversal de las armaduras atacadas. Si fuera viable dicho análisis se haría por medio de ensayos comparativos de resistencia entre piezas sanas y piezas de las más atacadas. Si es necesario, se pondrán nuevos estribos y nuevas armaduras longitudinales. Siempre que se utilice soldadura ésta debe ser a base de electrodos cuidando de observar el tiempo y la temperatura con el fin de evitar el cambio de estructura del acero, principalmente si éste fuera de clase B (EB-3 de la ABNT).
3. Reconstrucción del recubrimiento de las armaduras preferentemente con hormigón bien compactado. Este recubrimiento tiene la finalidad de:

- impedir la penetración de la humedad, oxígeno y agentes agresivos de las armaduras;
- recomponer el área de la sección de hormigón original;
- propiciar un medio que garantice el mantenimiento de la capa pasivadora en el acero.

Puede ejecutarse con cualquier procedimiento que atienda a estos requisitos, como, por ejemplo, los que seguidamente se exponen:

- 1.º Hormigón proyectado con un espesor mínimo de 5 cm. Tiene buena adherencia al hormigón «viejo» y no exige encofrados. Tiene la desventaja de dar muchos rebotes y «ensuciar» mucho el ámbito (fotos 13 y 14).
- 2.º Adhesivos a base de epoxi para la unión del hormigón «viejo» con el «nuevo» aplicándose éste en su lugar siguiendo métodos tradicionales. Es ventajoso con respecto al anterior ya que impermeabiliza la armadura definitivamente impidiendo que, aún con carbonatación superficial, haya corrosión. Tiene la desventaja de

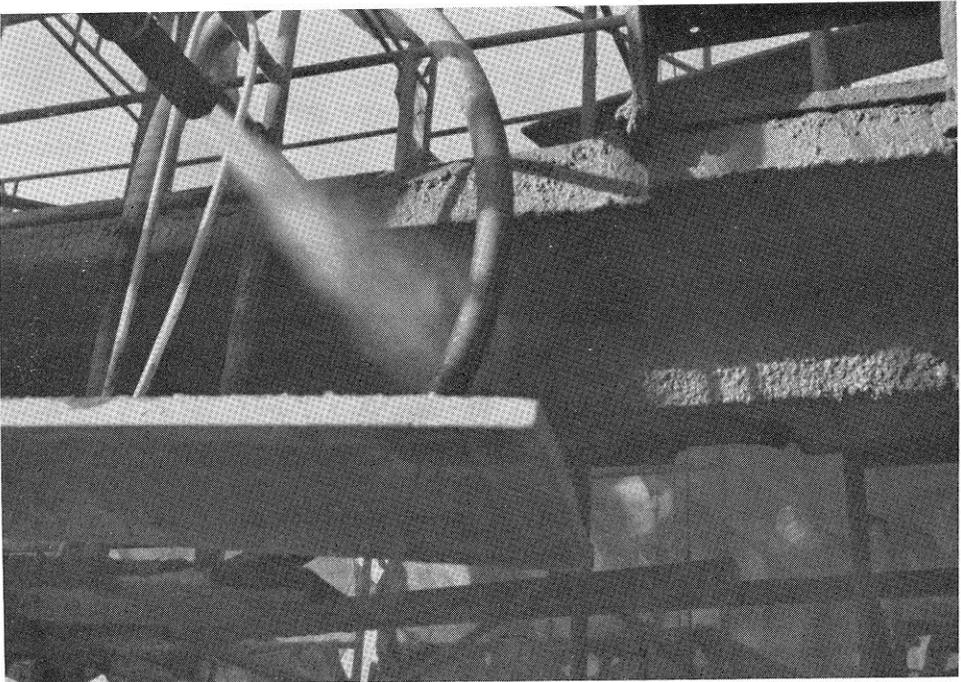


Foto 13.— Restauración de una viga y placa corroídas. Chorreado de hormigón para aumentar el espesor del recubrimiento. Antes la estructura se «preparó» con la limpieza del herrumbre y del hormigón, picotado, chorro de arena y chorro de agua para la saturación de la superficie seca.

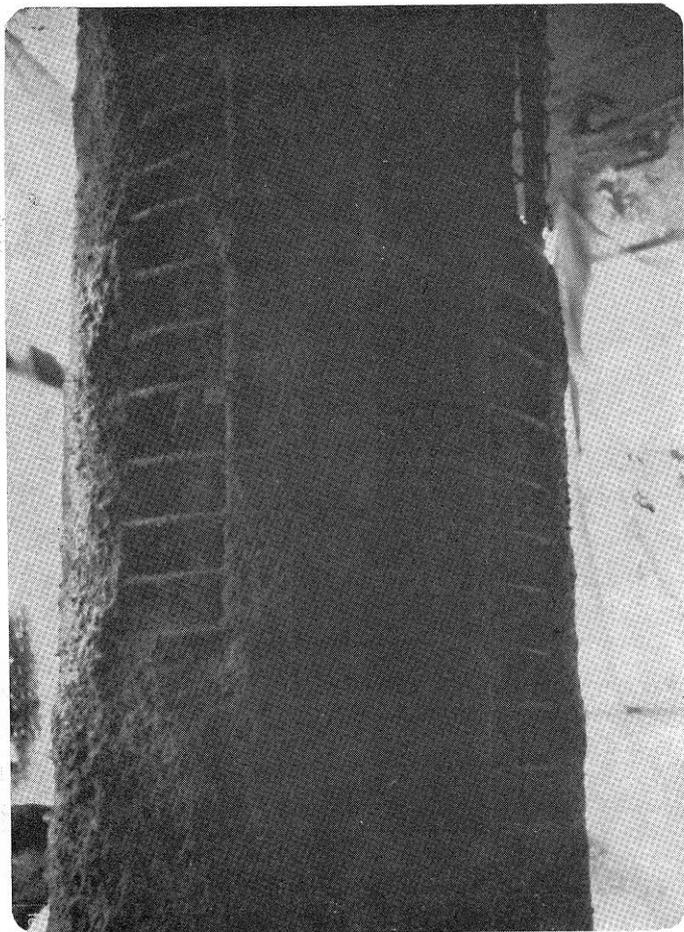


Foto 14. — Recuperación de un pilar corroído. Chorreado de hormigón para restaurar la sección de hormigón y cubrir la nueva armadura suplementaria. Primeramente la estructura fue «preparada» con limpieza de herrumbre y del hormigón, chorro de arena y chorro de agua para saturar el hormigón «viejo» y aumentar la adherencia. La armadura suplementaria se apoya con pastillas sobre el núcleo de armadura y hormigón «viejo» (gentileza de Jato-cret).

necesitar encofrados siendo difícil la compactación y adensamiento del hormigón «nuevo». Generalmente conduce a secciones finales mayores que las iniciales, con perjuicios estéticos (foto 15).

- 3.º Hormigones y morteros poliméricos, obtenidos a base de resinas epoxi o metilacrilato. Son de alta durabilidad, impermeabilidad y adherencia al hormigón «viejo» y a la armadura. Necesitan encofrado y exigen mano de obra especializada y ensayos previos de aptitud puesto que hay una gran fluctuación en las características de estos productos. Tienen la ventaja de no plantear problemas

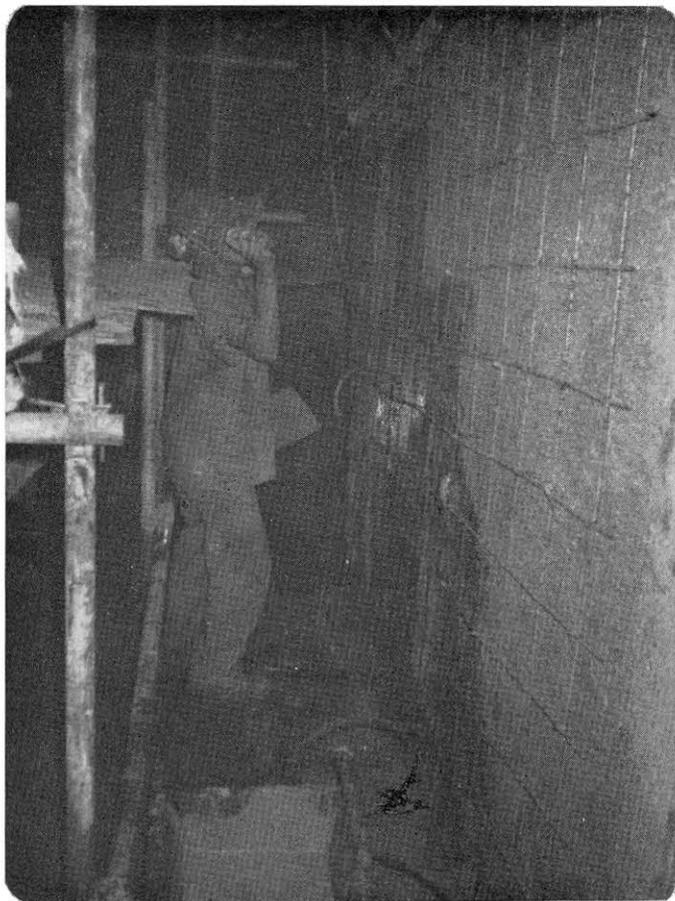


Foto 15. — Aplicación de adhesivo epoxi sobre la armadura y hormigón «viejos». Anteriormente la pared se preparó con la limpieza de los puntos de corrosión y chorreamiento de arena. Posteriormente se aplicará hormigón o mortero «nuevo» sobre el producto adhesivo (gentileza de Ciba-Geigy).

de estética, puesto que, casi siempre, pueden amoldarse en pequeños «espacios» disponibles. En general, son caros.

- 4.º Hormigones y morteros especiales para gruteamiento. No presentan retracción, tienen buena adherencia y pueden ser autocompactables no exigiendo un aumento de la sección más allá de la original. Tienen el inconveniente de exigir encofrados.
- 5.º Hormigones y morteros comunes, bien dosificados, con baja relación A/C y aplicados con encofrados siguiendo las técnicas del bien construir. En general exigen un gran aumento de la sección y requieren un buen conocimiento de la tecnología del hormigón a fin de asegurar la adherencia del hormigón «viejo» con el «nuevo».

Finalmente debemos recordar que antes de cualquier recuperación deben identificarse y sanarse las causas. Caso de esto no ser observado se corre el riesgo de trasladar la corrosión a otros lugares por haber creado más discontinuidades en la estructura, además de las que ya tenía originalmente.

Cuando la causa son los cloruros incorporados a la masa de hormigón la mejor solución puede no ser simple y, en general, exige respuestas específicas para cada caso.

### 13. RECURSOS ESPECIALES

En la protección de las armaduras de hormigón puede ser necesario emplear recursos especiales de protección cuando, por ejemplo:

- no se ve cómo obtener el recubrimiento mínimo adecuado;
- no hay cómo impedir el uso o acceso de elementos agresivos;
- no hay cómo impedir la existencia de corrientes de fuga (vías férreas en general) que pueden causar diferencias de potencial significativas;
- no hay cómo impedir la proximidad de metales más electropositivos \* (tales como tuberías de cobre junto a las armaduras);
- haya ventajas económicas.

Varios son los recursos disponibles, citándose, a seguir, varios de ellos.

#### 13.1. Galvanización

Como regla general la armadura se galvaniza por inmersión en caliente, esto es, por la inmersión del acero en un baño de zinc en estado de

\* Potencial normal a 25 °C de algunos metales.

Símbolo	Elemento	Valencia	Potencial normal en voltios
Al	aluminio	3	— 1,337
Zn	zinc	2	— 0,770
Fe	hierro	2	— 0,440
Pb	plomo	2	— 0,120
H <sub>2</sub>	hidrógeno	1	± 0,000
Cu	cobre	1	+ 0,522
Ag	plata	1	+ 0,770
Au	oro	1	+ 1,200

metales reactivos electronegativos

metales notables electropositivos

fusión. El peso del revestimiento producido por este método puede ser de  $600 \text{ g/m}^2$  (14), o sea, el zinc depositado protege al acero de dos modos:

- a) actuando como barrera entre el acero y el medio agresivo, y
- b) actuando como ánodo de sacrificio, protegiendo catódicamente al acero eventualmente expuesto por magullamiento o fallos en el revestimiento.

En el caso de que haya corrosión del zinc, que tiene un comportamiento anfótero, o sea, capaz de reaccionar tanto en medios ácidos como en medios muy alcalinos. Sus productos de corrosión, más solubles, tienden a colmatar los poros inhibiendo la prosecución acelerada del ataque.

Según *Shaffer* (14) estos productos de corrosión tienen menor fuerza de expansión que la herrumbre y no causan la fisuración del hormigón, aparte de la ventaja del óxido de zinc ser blanco, no provocando manchas.

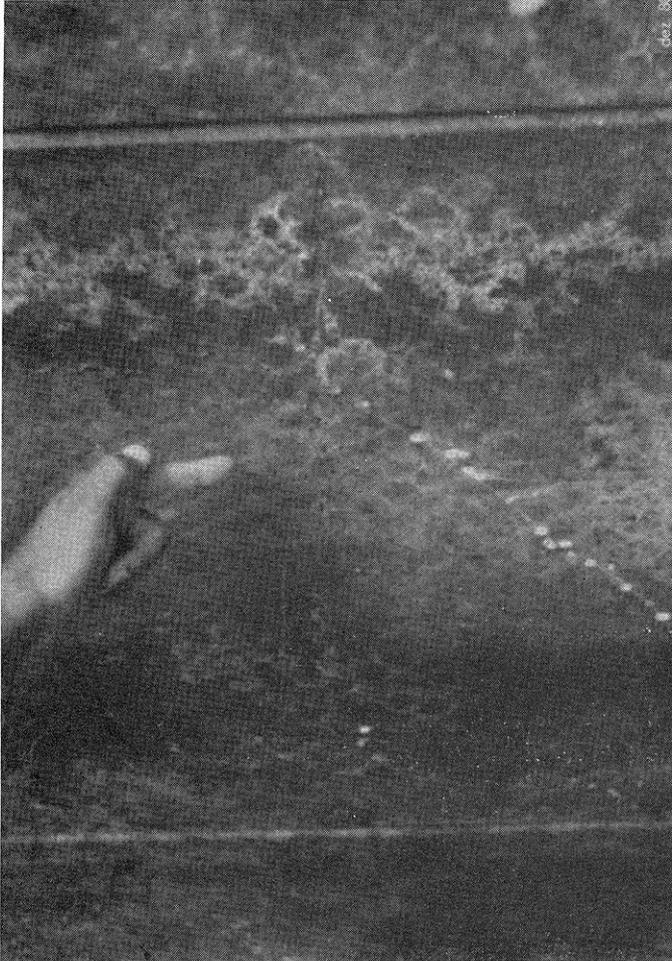
La conveniencia de este recurso es muy discutible ya que cualquier discontinuidad en la armadura, por ejemplo, partes galvanizadas alternando con partes no galvanizadas, o estribos de acero corriente con la armadura principal de acero galvanizado, serán suficientes para generar diferencias de potencial (véanse los potenciales diferentes del Fe y del Zn) ocasionando la corrosión del zinc, puesto que es más electronegativo que el acero. Al corroerse, expondrá al acero y el proceso podrá continuar consumiendo entonces al acero.

Nuestra experiencia ha demostrado que la protección no es eficiente cuando el hormigón y el cubrimiento de hormigón no lo son. La tela metálica galvanizada se puede corroer rápidamente en atmósfera marina (fotos 16 y 17), exponiendo el hierro a la corrosión.

Según la *VIN 50960/55* (38) la tasa de corrosión de la capa de zinc puede variar de  $2,4 \mu\text{m/año}$  a  $15 \mu\text{m/año}$  según el ambiente sea más o menos agresivo. En el caso estudiado en el informe que se cita, se observa que una capa de zinc de  $7,5 \mu\text{m}$  ( $\sim 52 \text{ g/m}^2$ ) que podría durar 6 meses en atmósfera marina agresiva, aún antes de ser embebida en el hormigón ya presentaba puntos de corrosión ferrosa, o sea, el zinc ya se había consumido.

### 13.2. Inhibidores químicos

Son sustancias químicas que actúan sobre la superficie metálica dificultando la reacción anódica (inhibidores anódicos) o la reacción catódica



**Foto 16.** — Corrosión blanca inicial del zinc que recubre la tela metálica galvanizada.  
Corrosión en placas de forro en vivienda popular.

(inhibidores catódicos) o ambas a la vez (inhibidores mixtos). Su efecto se basa en la ruptura de la continuidad del circuito electroquímico formado por la célula de corrosión.

Son numerosos los productos químicos que tienen propiedades inhibidoras. Entre ellos se puede citar (19):

- inhibidores anódicos del acero en medios alcalinos y neutros:
  - nitritos de sodio
  - cromatos de potasio
  - benzoatos de sodio
  - fosfatos

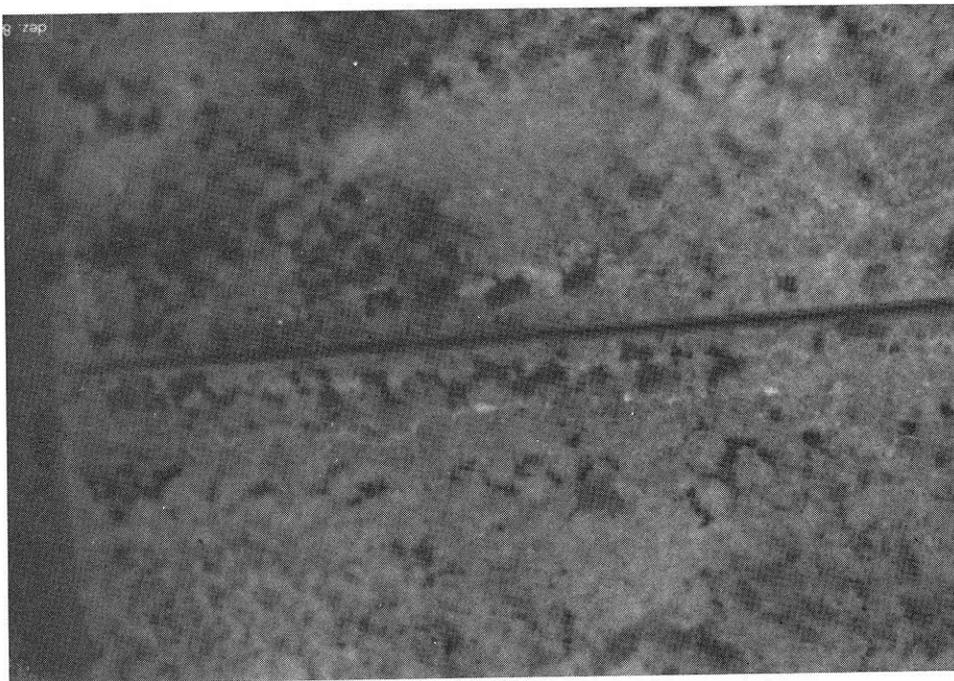


Foto 17. — Corrosión ferrosa de la tela metálica, paso siguiente de la corrosión en placas de forro en una vivienda popular.

- inhibidores catódicos del acero en medios alcalinos y neutros:
  - sulfitos
  
- inhibidores mixtos:
  - polifosfatos.

Los inhibidores más idóneos parecen ser los anódicos, con el riesgo de que dejen de ser eficaces cuando la cantidad que se añade está por debajo de un mínimo ideal. Otro riesgo inherente al proceso es el de originar diferentes concentraciones de productos en una misma estructura. Este puede ocasionar corrosión por diferencia de concentraciones en vez de impedirlo (19). Puede ser el caso de armaduras ya corroídas donde en algunos lugares el inhibidor no alcance la superficie del acero.

Generalmente sólo deben adicionarse a la masa de hormigón cuando haya precloruros en presencia, que serán determinados en función del tenor de cloruros libres, existentes en la masa. El lignosulfonato cálcico (generalmente aditivo plastificante) ha sido citado (19) como inhibidor de la corrosión, con tenores de tan sólo 0,42 % serían suficientes para inhibir concentraciones de hasta 5 % de  $\text{CaCl}_2$ .

Los nitritos de sodio se han empleado con éxito en Europa, pudiéndose citar los siguientes tenores a título meramente orientativo:

- condiciones poco corrosivas      1 % de  $\text{NaNO}_2$  en relación con la masa de cemento;
- condiciones corrosivas medias      2 % de  $\text{NaNO}_2$  en relación con la masa de cemento;
- condiciones altamente corrosivas      3 % de  $\text{NaNO}_2$  en relación con la masa de cemento;
- condiciones extremadamente corrosivas      4 % de  $\text{NaNO}_2$  en relación con la masa de cemento.

Cuando en la masa de hormigón se sabe o se puede saber el tenor de cloruros, el criterio más correcto y eficaz es observar si la relación  $\text{NO}_2^-/\text{Cl}^-$  es mayor o igual a uno (39).

### 13.3. Impregnación de la superficie del hormigón

Cualquier revestimiento impermeable y adherente tal como: resinas epoxi, betún, asfaltos, procesos superficiales de colmatación, caucho clorado, etc., son eficaces, desde que sean bien aplicados, en la protección de las armaduras contra la corrosión.

Se aconsejan ensayos previos principalmente cuando se trata de proteger estructuras con problemas patológicos crónicos, tales como corrosión de armaduras galvanizadas. En dichos casos la solución puede que no sea con revestimientos a base de epoxi, pues la adherencia zinc-epoxi es mediocre.

Pinturas con lechada de cemento y mortero preparadas con inhibidores también puede ser una solución (tal vez temporal) del problema. En estos casos es aconsejable la adición de caseína, en relación de 3 a 5 % con respecto a la masa de cemento, mejora la adherencia del hormigón «nuevo» con el hormigón «viejo».

El éxito de cualquier revestimiento también dependerá de la calidad de la preparación y la limpieza de las superficies a revestir separando todos los elementos que puedan perjudicar a la adherencia, tales como polvo, grasas, aceites, lechada porosa, etc.

## CONSIDERACIONES FINALES

La corrosión de las armaduras en el hormigón armado es un fenómeno que tan sólo ocurre cuando las condiciones de protección proporcionadas por el recubrimiento de hormigón son insuficientes.

Esta insuficiencia, según se ha expuesto, puede ser causada por agentes con origen en diferentes fuentes, siendo, siempre, necesario identificarlas a fin de que se pueda lograr una protección efectiva y duradera.

Cabe resaltar que el fenómeno de corrosión de las armaduras, en general, es más frecuente que cualquier otro fenómeno de degradación de las estructuras de hormigón armado comprometiéndolas tanto del punto de vista estético como del punto de vista de la seguridad, siendo siempre dispendiosa su reparación o recuperación.

En algunas estructuras, tales como obras marítimas, puede ser más importante que la propia acción del agua del mar sobre el cemento. Después de 30 años de observación, el «*Sea Action Committee of the Institution of Civil Engineers*» (40) concluyó en que la deterioración de los pilares y columnas en el agua del mar se debe, principalmente, a la corrosión de las armaduras.

La fiel observación de los recubrimientos mínimos, de la calidad del hormigón y de la uniformidad de la ejecución pueden evitar este problema.

De cualquier forma, siendo un fenómeno expansivo, en la mayoría de los casos, avisa con tiempo suficiente para que sean tomadas medidas rápidas de protección.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) WEXLER, Silvana B. de; FENILI, Celio; WOLYNEC, Stephan. **Manual de Proteção contra Corrosão durante Armazenamento e Transporte**. Ministério da Indústria e do Comércio — Secretaria de Tecnologia Industrial. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo—IPT, maio. 1976. 105p.
- (2) RÜSCH, Hubert. **Hormigón Armado y Hormigón Pretensado** — propiedades de los materiales y procedimientos de cálculo [Stahlebeton — Spannbeton.] Trad. Departamento Técnico C.E.C.S.A. Barcelona, Companhia Editorial Continental S.A., dic. 1975. 417p.
- (3) PORRERO, Joaquín. I. Causas que en la practica producen la corrosión de las armaduras de concreto. Caracas, **Boletín del IMME**, año XII, n. 49, enero-marzo. 1975. p. 25-49.
- (4) VERBECK, George J. Mechanisms of corrosion of steel in concrete SP 49-3. In: **Corrosion of Metals in Concrete Publication SP-49**. Detroit, American Concrete Institute — ACI, jun. 1975. p. 21-38.
- (5) WOLYNEC, Stephan. Corrosão conjugada à tensão é ameaça nos aços protendidos. São Paulo, **O Dirigente Construtor**, dez. 1964. p. 49-53.
- (6) GOMES, Luiz Paulo & BARRETO, Francisco de Assis. Proteção catódica para piers de atracação de navios. São Paulo **Construção Pesada**. abril. 1978. p. 50-4.
- (7) TANAKA, Deniol K. et alii. Corrosão atmosférica. In: **Corrosão e Proteção contra a Corrosão de Metais — Publicação IPT Nº 1127**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas — IPT, fev. 1979. p. 59-74.

- (8) HELENE, Paulo R. do L. Cimentos Portland. In: **Curso de Patologia das Construções de Concreto**, São Paulo, 1980. **Anais**. . . Fundação para o Desenvolvimento da Engenharia Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/Instituto de Pesquisas Tecnológicas — FDTE/EPUSP/IPT, São Paulo, 1980. 42p.
- (9) POURBAIX, Marcel. **Curso sobre corrosão electroquímica**. Instituto Nacional de Investigação Industrial — INII, Lisboa, mar. 1961. 90p.
- (10) PETROCOKINO, M.D. Les divers aspects de la corrosion des armatures dans les ouvrages en béton armé et précontraint. Paris, **Annales de L'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics**, n. 153, 13<sup>e</sup> année, set. 1960. p.915-36.
- (11) COUTINHO, A. de Souza. **Fabrico e Propriedades do Betão**. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil — LNEC, v. 1 e v. 2, 1973.
- (12) FERNÁNDEZ CÁNOVAS; Manuel. **Patología y Terapéutica del Hormigón Armado**. Madrid. Editorial Dosat, 1977. 390p.  
 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS — IPT. Parecer técnico n. 1.449 de 07/04/80. 61p.  
 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS — IPT. Relatório n. 14.180 de 18/11/80. 23p.
- (13) CAIRONI, Mario. Patologia e restauro dei conglomerati in ambiente marino. Roma, **L'Industria Italiana del Cemento**, anno XLVIII, n. 9, set. 1977. p. 2-9.
- (14) SHAFFER, Thomas F. Jr. Aço Galvanizado para Estruturas de Concreto Armado. In: **II Simpósio Sul-Americano de Corrosão Metálica**, Rio de Janeiro, 1971. **Anais**. . . Associação Brasileira de Corrosão, Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, nov. 1971. p. 233-39.
- (15) BURY, M.R. C.S. DOMONE, P.L. The role of research in the design of concrete offshore Structures. In: **Sixth Annual Offshore Technology Conference**. Houston, Texas, v.1, paper OTC 1949, may 1974. p. 155-79
- (16) ROBERTS, M.H. Carbonation of concrete made wit dense natural aggregates. Watford, BRE — Information, IP 6/81, abril 1981. 4p.
- (17) GREGER, Martin. Corrosion of steel due to the carbonation of concrete. In: **International Symposium Durability of Concrete**, Praga, 1969. **Anais**. . . Réunion Internationale des Laboratoires d'Essai et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions, Academia, Praga, 1969. p. D219-39.
- (18) ORETZ, Stefan. La protección contra la corrosión en los hormigones armado y pretensado. Madrid, Instituto Eduardo Torroja — IET, **Materiales de Construcción: últimos avances**, n. 126, abr. — jun. 1967. p. 30-54.
- (19) 12-CRC COMMITTEE. Corrosion of reinforcement and prestressing tendons. A "state of art" report. Paris, Corrosion of Reinforcement in Concrete — RILEM, **Matériaux et Constructions**, v. 9, n. 51, mai-jun. 1976. p.187-206.
- (20) POWERS, T.C. Structure and physical, proterties of hardened Portland cement paste. Chicago, **Journal of the American Ceramic Society**, v. 41, n. 1, jan. 1958. p. 1-6.  
 POWERS Apud NEVILLE, A.M. **Tecnología del Concreto**[properties of concrete.] Trad. Víctor M. Pavón R., Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto — IMCYC, 1979. (2.º volume). 395p.
- (21) FARJALLAT, J.E.S. Comportamento da permeabilidade ao ar de alguns basaltos do sul do Brasil. In: **Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**, Porto Alegre, 1974. p. 113-21.  
 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS — IPT. Relatório n. 12.497 de 02/07/79. 111p.  
 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS — IPT. Relatório n. 13.222 de 17/04/80. 54p.
- (22) BEEBY, A W. Corrosion of reinforcement and crack widths. In: **Offshore structures**, Rio de Janeiro, 1979. Proceedings of International Symposium on Offshore Structures, Rio de Janeiro, 1979 Sponsored by RILEM, FIP, CEB. p. 147-159.
- CARPENTIER, L. & SORETZ, M.S. Contribution a l'étude de la corrosion des armatures dans le beton armé. Paris, **Annales de L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics — ITBTP**, n. 223-224, jui-aôut 1966. p. 817-41.

- (24) NEVILLE, A.M. *Tecnología del concreto* [Properties of concrete.] Trad. Víctor M. Pavón R., Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto – IMCYC, 1979. (2º volume). 395p.
- (25) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Parecer técnico n. 1.449 de 07/04/80. 61p.
- (26) HAUSMANN, D.A. Steel corrosion in concrete. How does it occur? *Materials Protection*, Nov. 1969. p.19-23
- (27) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NB-1 Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado** Rio de Janeiro, 1978. 76 p. item 8.1.3. p. 51.
- (28) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Relatório n. 11.875 de 28/11/78. 15p.
- (29) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 294-Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of Natural Mineral Aggregates**. Annual Book of ASTM Standards, Part 10. 1971.
- (30) Apud CECCHINI, Marco Antonio G. Meios Corrosivos – conferência especial. In: **II Simpósio Sul-Americano de Corrosão Metálica**, Rio de Janeiro, 1971. *Anais*. . . Associação Brasileira de Corrosão, Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, nov. 1971. p. 317-27
- (31) BICZÓK, Imre. **La corrosión del hormigón y su protección**. [Betonkorrosion Betonschutz.] Trad. Emilie J. D' Ocon Asensi. Bilbao, Urmo S.A. de Ediciones, 6 ed. 1978. 715p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Relatório n. 14.507 de 04/02/81. 40p.
- (32) LUDWIG, Russel George & ALMEIDA, Sergio Augusto Sá de Controle da Corrosão por Sulfetos no Projeto de Interceptores de Esgoto. São Paulo, *Revista DAE*, ano XXXIX, n. 121, 1979. p. 70-81.
- (33) U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process Design Manual for Sulfide Control in Sanitary Sewerage Systems**. Technology Transfer, oct. 1974. 71p.
- (34) CALAVERA, José et alii. Influencia de la oxidación y de las manchas de mortero sobre la adherencia de armaduras de hormigón. Madrid, **Hormigón y Acero**, n. 130-1-2, oct. 1978. p. 73-84.
- (35) DANTAS, Francisco de Assis Souza, **Aspectos do controle da execução de obra em concreto armado**. São Paulo, Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia. 1979.
- (36) TERZIAN, Paulo Roberto; SARDINHA, Vera Lucia Amaral; HELENE, Paulo R. do L. Considerações sobre a estanqueidade de estruturas de concreto. In: **2º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização**. Rio de Janeiro, nov. 1980. *Anais*. . . Instituto Brasileiro de Impermeabilização, Rio de Janeiro, nov. 1980. p. 176-97.
- (37) LERCH, William. Plastic Shrinkage. Detroit, *Journal of the American Concrete Institute – ACI*, v. 28. n. 8, feb. 1957. p. 797-802.
- (38) INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Relatório n. 14.180 de 18/11/80. 23p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Relatório n. 14.129 de 12/09/80. 15p.
- (39) CARMEN ANDRADE, Maria del. Protección de las armaduras en el hormigón, Madrid, **Curso de Estudios Mayores de la Construcción – Patología de las Construcciones**, CEMCO 79, 1979. 11p.
- (40) Apud MURDOCK, L. I. & BROOK, K. M. **Concrete Materials and Practice** - 5ª ed. LONDON, EDWARD ARNOLD, 1979., p. 382