

Descripción de varios casos de corrosión de armaduras de hormigón armado estudiados en Vizcaya

JOSE L. RAMIREZ, Prof. Dr. Ingeniero Industrial
JUAN A. FERNANDEZ, Lcdo. en Ciencias Químicas

1. CONSIDERACIONES GENERALES

A lo largo de más de diez años de observación de obras de hormigón armado hemos tenido la oportunidad de encontrar bastantes problemas de corrosión de armaduras, en muchas ocasiones importantes.

De los casos que se han estudiado con más detalle hemos seleccionado los cuatro que se describen más adelante, por ser más significativos y corresponder a cuatro tipos de edificios diferentes por su utilización.

Opinamos que los análisis y condiciones ambientales correspondientes podrán interesar suministrando una aportación útil para las comisiones que estudian la confección de Reglamentos en torno a la durabilidad del hormigón armado. También el Técnico con actividad en el campo de la construcción podrá comprobar a lo que ha conducido no tener en cuenta determinadas precauciones a lo largo de la ejecución o utilización del edificio.

Los casos de mayor gravedad se han dado en los edificios más antiguos. Las corrosiones generalizadas más importantes, que han supuesto en algún caso la reconstrucción del edificio, se han producido en estructuras de alrededor de treinta a cuarenta años, que han presentado disminuciones de diámetro de las armaduras en algunos puntos mayor del 50 %. Corrosiones localizadas, que han exigido su reparación para evitar mayores peligros a más largo plazo, se han dado en edificios de diez a veinte años, con disminuciones en diámetro del 10 al 20 %.

2. FACTORES COMUNES OBSERVADOS EN TORNO A LA CORROSION DE ARMADURAS

Los factores comunes más importantes en orden a la corrosión, en los casos que examinamos son: una gran humedad, muy baja calidad del hormigón y presencia de sales solubles en cantidades apreciables.

De hecho, en los cuatro ejemplos que luego describiremos ha habido mucha humedad al mojarse directamente bastantes de los elementos de hormigón armado, fuera por la lluvia, por el lavado de coches en garajes o bien por la existencia de instalaciones de cubas y depósitos de agua. En otros que recordamos había elementos de hormigón muy próximos al terreno, con lo que han existido grandes condensaciones de agua en la superficie del hormigón y a la vez absorción por capilaridad del mismo terreno.

La calidad del hormigón también ha sido mala en general. En algún caso, tan deficiente, que bien pudiera haberse producido el hundimiento del edificio por esta causa, con independencia del problema de las armaduras. La realidad de esta afirmación se basa en que, en gran cantidad de puntos, la resistencia del hormigón ha sido inferior a los 100 kp/cm² e incluso en algunos menor de 50 kp/cm².

Paralelamente a la baja resistencia se han dado habitualmente muy bajas densidades, falta de árido intermedio y mucha arena de playa. Los hormigones de los edificios más antiguos y más afectados estaban constituidos por un guijo de tipo calizo dentro de un mortero en su mayor parte de arena de playa, creándose así una estructura porosa de gran poder de absorción, que creemos ha sido un condicionante decisivo para la corrosión.

3. LA UTILIZACION DE LA ARENA DE PLAYA

Estas fuertes corrosiones coincidiendo con la presencia abundante de arena de playa nos lleva igualmente a considerar el efecto de las sales solubles, cloruros y sulfatos principalmente, que ella aporta, como aceleradores del fenómeno.

Se ha comprobado realmente en los casos estudiados una relación clara entre contenido de cloruros y grado de corrosión, como se cita más adelante.

La Instrucción Española para el Proyecto y Ejecución de Obras de hormigón en Masa y Armado prohíbe la utilización del cloruro cálcico como aditivo, precisamente por su acción de acelerar e intensificar la corrosión. También recomienda utilizar agua y áridos exentos de sales solubles.

Un análisis de cloruros y sulfatos de arenas de playa utilizadas en diversas obras en nuestra región ha puesto de manifiesto los siguientes resultados:

Análisis	Arena de playa n.º								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cloruros (% Cl ⁻)	0,07	0,41	0,53	0,72	0,02	0,13	0,01	0,03	0,04
Sulfatos (% SO ₃)	0,06	0,51	0,63	0,01	0,04	0,05	0,06	0,08	0,15

Los valores son muy dispersos dependiendo del lugar de su extracción (directamente del mar o tierra adentro) y del lavado que haya tenido, pero se advierten a primera vista valores altos.

Algún investigador (1) ha puesto de manifiesto mediante ensayos de laboratorio, al menos para tuberías de acero embebidas en el hormigón, que para contenidos de cloruro cálcico superiores al 1 % respecto al peso del cemento, se aceleran notablemente las corrosiones. Si tomamos este valor como tope superior de contenido en sales aportadas a la masa que pudiera aceptarse a modo orientativo y le sumamos lo que añade el cemento y el agua en un hormigón de 350 kg/m^3 de dosificación y $a/c = 0,9$ nos resulta que el contenido en cloruros de hormigón sería según (2):

% de Cl^- aportado por el 1 % de Cl_2Ca	0,106
% de Cl^- aportado por el cemento	0,050
% de Cl^- aportado por el agua	0,015
TOTAL	0,171

Suponiendo hormigones hechos con arena de playa en un 35 % del peso total del árido empleado, cosa que hace bastantes años era práctica corriente aunque hoy ya no se admita y con los contenidos en cloruros más altos obtenidos en los análisis, resultarían para la suma anterior valores que van de 0,19 a 0,28, es decir, valores todavía más altos de los que hemos visto podría quizás permitirse. Además esta cifra se elevaría si la arena viniera empapada en agua de mar.

De ahí la consecuencia de utilizar poca arena de playa e incluso analizarla para hacer que el contenido en cloruros de la masa sea lo más reducido posible.

Los análisis de Cl^- en los hormigones de las obras afectadas de fuertes corrosiones, que se exponen más adelante, han puesto de manifiesto contenidos en algunos casos altos con respecto a las cifras manejadas, aunque el valor medio no sea elevado. Sin embargo hay que hacer notar y creemos que esto es importante, el que en bastantes casos se habrá podido producir durante los años de servicio del edificio un lavado de las sales solubles de algunos elementos analizados, sea por la lluvia o por estar en locales en que se maneja agua, con lo que los resultados del análisis químico actual habrán reflejado valores menores que los reales que han existido en épocas anteriores.

Por último queremos hacer notar que la Instrucción Española de hormigón, al permitir para el agua de amasado de hormigones el contenido de ion cloro de 6 gramos por litro, conduce a que en un hormigón de 350 kg/m^3 de cemento, densidad $2,1 \text{ kg/dm}^3$ y $a/c = 0,9$ resulte un contenido de Cl^- de valor 0,14. Si a esto añadimos los cloruros que, aunque en pequeña cantidad, puedan aportar los áridos se podrían superar fácilmente los límites razonables. Por ello quizás fuera conveniente desde el punto de vista de la corrosión establecer un tope máximo de ion cloro, como suma de los aportados por los diversos constituyentes del hormigón, además de los topes para cada uno individualmente.

En relación con los sulfatos los contenidos en los casos examinados han sido bastante normales y dentro de los que permite la actual Instrucción Española de hormigón, excepto en uno de ellos en que los contenidos han sido muy altos y con seguridad habrán afectado a las armaduras.

A continuación se exponen cuatro casos de corrosión de armaduras con los datos y observaciones relativos a cada uno.

4. DESCRIPCION DE LOS CASOS DE CORROSION

C A S O 1

Descripción de los daños

Edificio construido en el año 1932. Muchos elementos de hormigón a la intemperie por existir terrazas dando a patios en distintos niveles. Humedad en forma de vapor en muchas zonas interiores al haber instalaciones con pilas y depósitos de agua.

El hormigón es de muy poca calidad, con muy bajas resistencias, poca densidad y alta absorción de agua. Tiene mucha arena de playa.

La corrosión en las armaduras es de intensidad variable, pero siempre importante, con desconchamiento, craterización y pérdida de material. Se agudiza el problema por ser las armaduras de diámetro reducido.

El edificio fue demolido en vista de su estado, y reconstruido.

Análisis efectuados

a) Ensayos mecánicos de las armaduras

Probeta n.º	Diámetro (mm)	Límite Elástico (kp/mm ²)	Carga de Rotura (kp/mm ²)	Alargamiento (%)
2	7,0	31,8	41,8	27,5
3	10,2	26,2	38,1	38,8
4	25,1	38,6	50,7	21,7
5	16,1	27,5	40,8	21,7
6	16,1	32,7	46,4	24,2

b) Análisis químico de las armaduras

Probeta n.º	Carbono % C	Silicio % Si	Manganeso % Mn	Fósforo % P	Azufre % S
2	0,08	0,05	0,43	0,030	0,032
3	0,05	0,11	0,44	0,026	0,041
4	0,09	0,09	0,54	0,032	0,021

c) Análisis micrográfico

Puede decirse, en general, que se trata de aceros dulces pertenecientes al tipo corrientemente utilizado para armaduras de hormigón. Se observan algunas pequeñas diferencias en el tamaño de grano y en el contenido de perlita que no puede pensarse que sean en absoluto significativas desde el punto de vista de la corrosión producida.

d) *Características físicas de los testigos de hormigón extraídos por corte*

Testigo n.º	Densidad (kg/m ³)	Absorción (%)	Resistencia a la compresión (kp/cm ²)
1	2.004	9,84	28
2	2.025	9,30	32
3	2.109	7,74	40
4	2.390	3,88	93
6	2.201	5,86	60
7	2.082	7,33	92
8	2.065	7,67	73
9	2.202	5,12	84
10	2.015	9,27	42

e) *Análisis químico de los testigos de hormigón*

Análisis	Muestra n.º									
	1	2	3	4	6	8	9	10	11	
Contenido en Cemento (kg/m ³)	147	95	80	208	117	272	204	170	250	
Sulfatos (% SO ₃)	0,27	0,34	0,24	0,24	0,19	0,34	0,46	0,28	0,48	
Cloruros solubles (% Cl ⁻)	0,16	0,11	0,08	0,10	0,04	0,06	0,04	0,06	0,20	

Conclusiones

El hormigón es de calidad extraordinariamente baja puesta de manifiesto en los valores de la resistencia a la compresión, que concuerdan con los bajos e irregulares contenidos en cemento, en las muy bajas densidades y altas absorciones de agua.

El ambiente de humedad en que se encontraba la obra junto con valores reducidos de los recubrimientos e incluso de las mismas secciones de hormigón habría hecho posible el acceso sin dificultad de la humedad a las armaduras.

El contenido en cloruros analizado, aportado en su mayor parte por la arena de playa empleada en gran cantidad, es seguro que es menor que el original ya que con los años habrá habido un lavado de algunas zonas externas del hormigón. Con todo ya hay valores altos en algunos puntos y es indudable que habrán contribuido activamente en el papel de acelerar la corrosión.

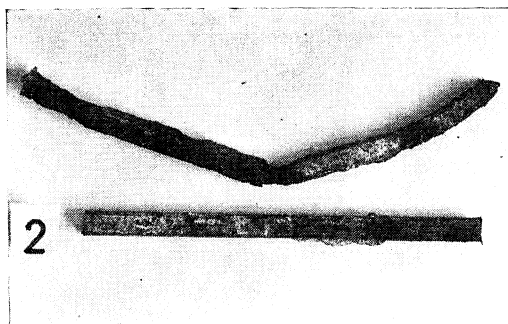


FOTO 1.
CASO 1.—Aspecto de algunas armaduras corroidas.

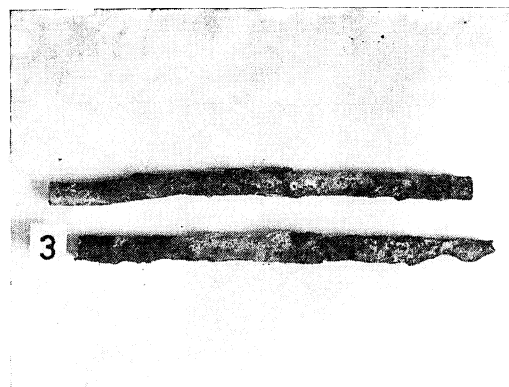


FOTO 2.
CASO 1.—Aspecto de algunas armaduras corroidas.



FOTO 3.
CASO 1.—Corrosión de armaduras en la estructura.

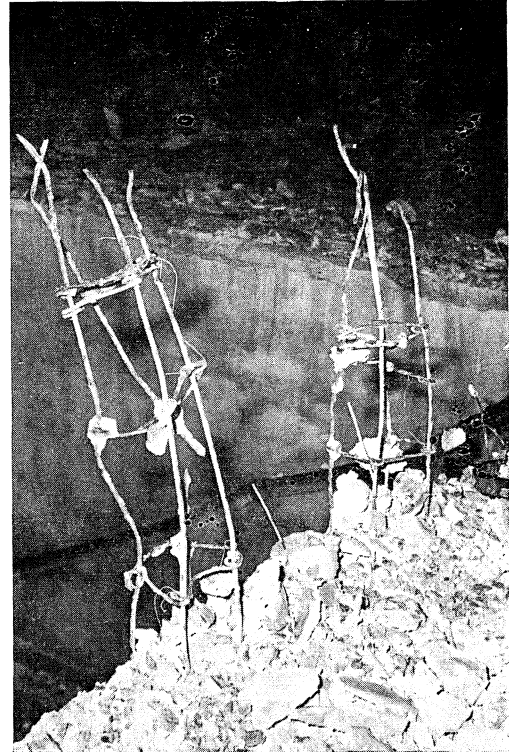


FOTO 4.
CASO 1.—Utilización de armaduras de pequeño diámetro.

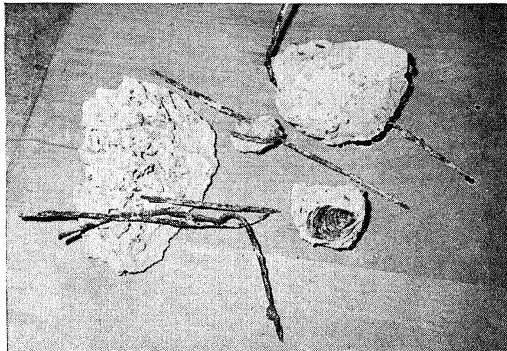


FOTO 5.
CASO 1.—Utilización de pequeños diámetros y arena de playa.

C A S O 2

Descripción de los daños

Edificio construido en el año 1935. Ha estado durante más de 20 años sin edificios adyacentes por lo que los muros perimetrales han recibido directamente la lluvia. La calidad del hormigón se revela muy deficiente correspondiendo, como en otras construcciones de la época, a una estructura de árido grueso calizo, dentro de un mortero con casi la totalidad de arena de playa. Se aprecia muy poca cantidad de árido intermedio calizo.

Se observan en los pilares de la estructura muy importantes corrosiones de la armadura que han desconchado grandes zonas de las aristas y otras próximas, y casi desaparición de las armaduras en algunos puntos. El edificio da la impresión de peligro y se discute actualmente su expediente de ruina.

Análisis efectuados

a) Resistencia de testigos de hormigón extraídos por corte

Testigo n.º	Resistencia a la compresión (kp/cm ²)
1	73
2	113
3	76
4	96
5	114
6	80

b) Análisis químico

Testigo n.º	Cloruros solubles (% Cl ⁻)	Sulfatos (% SO ₃)
1	0,15	0,38
2	0,37	0,55
5	0,14	0,45
7	0,04	0,71
8	0,19	0,59
9	0,01	0,78

Conclusiones

Un contenido alto de cloruros aportados por la arena de playa, que habrá sido mayor en épocas anteriores, junto con un hormigón poroso de baja calidad y muy expuesto a la humedad, creemos es la causa de las corrosiones manifestadas.

C A S O 3

Descripción de los daños

Edificio construido en el año 1952. Se trata de corrosiones en las armaduras principales de los pilares de una planta utilizada como garaje. La corrosión se centra en la zona baja de los pilares estando la parte superior en general en buen estado. La corrosión se ha puesto de manifiesto por los importantes agrietamientos en el hormigón en las esquinas de los pilares, paralelamente a las armaduras. La pérdida de diámetro de estas es variable con un máximo de 3 mm. Los recubrimientos oscilan entre 1 y 6 cm. El hormigón es de poca calidad. Los pilares afectados por oxidación de las armaduras han tenido que ser reparados.

Análisis efectuados

a) Características de los testigos de hormigón extraídos por corte

Testigo n.º	Resistencia a la compresión (kp/cm ²)	Densidad (kg/m ³)
19	96	2.109
23	79	2.184
33	97	2.182
36	142	2.265

b) Análisis químico de los testigos de hormigón y del enlucido de pilares

Análisis	Muestra n.º							
	19	23	33	36	21 (E)	24 (E)	37 (E)	L (E)
Contenido en cemento (kg/m ³)	214	273	420	357	—	—	—	—
Sulfatos (% SO ₃)	0,16	0,51	0,41	0,32	20,63	12,91	2,30	1,03
Cloruros solubles (% Cl ⁻)	0,03	0,05	0,13	0,05	0,12	0,12	0,48	0,07

c) Aislamiento eléctrico de las armaduras

Se midió el aislamiento con tensión continua de 500 voltios entre cada fase de la red y la armadura metálica de las columnas, obteniendo en los tres casos el valor de 7 mega-ohms.

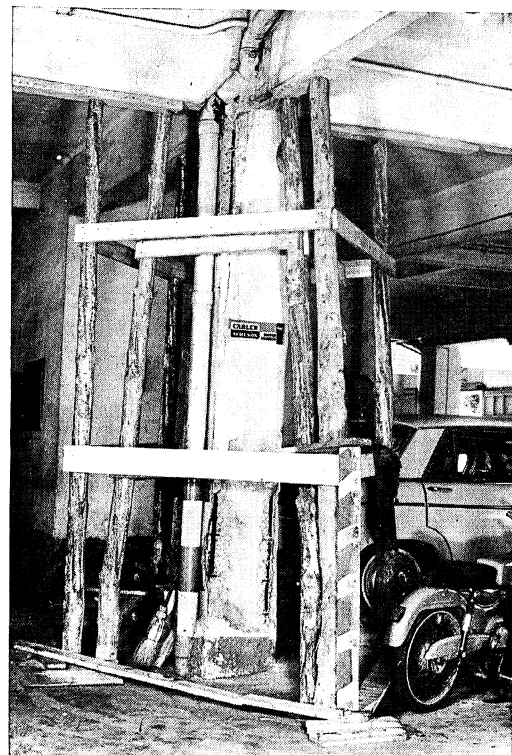
Conclusiones

La calidad del hormigón es baja, correspondiéndose baja resistencia y densidad. El valor medio de la dosificación es normal.

El contenido en cloruros y sulfatos es en general en el hormigón relativamente bajo. Sin embargo en el enlucido existen cifras ya importantes en cloruros y mayores aún en sulfatos. Se ha observado además que los pilares con gran corrosión en sus armaduras son los de mayor contenido en sulfatos en el enlucido, mientras los que no tienen sulfatos en dicho enlucido no aparecen corroidos a pesar de que los pilares inspeccionados eran exteriores, circunstancia que hubiera podido favorecer dicha corrosión.

FOTO 6.

CASO 3.—Corrosión de armaduras de zona inferior de pilares en garaje. Influencia de las bajantes en la zona superior.



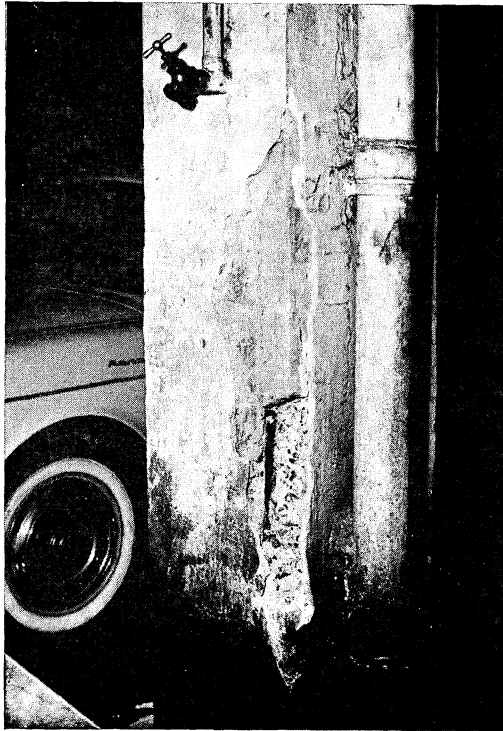


FOTO 7.

CASO 3.—Corrosión de armaduras en garaje. Zonas de lavado.



FOTO 8.

CASO 3.—Corrosión de armaduras de zona inferior de pilares en garaje. Enlucido y bajante.

Creemos pues que las causas de estas corrosiones hay que buscarlas por la unión de un hormigón de baja calidad y poroso, el agua y humedad de los diferentes puntos de lavado de los coches, y la presencia de sales del tipo de cloruros y sobre todo sulfatos en el enlucido de los pilares.

Ha podido contribuir también a agudizar el problema las fisuras y desconchados en las esquinas de los pilares que se suelen producir en los garajes con el movimiento de los coches.

C A S O 4

Descripción de los daños

Edificio construido en el año 1954, en el cual se manipulan reactivos ácidos. El hormigón es de calidad media y en general no parece estar atacado. En relación con las armaduras, la mayor parte de ellas están en buenas condiciones mostrando algunas por el contrario un comienzo de corrosión.

Tanto la corrosión de armaduras como el ataque del hormigón aparecen más avanzados en las zonas de forjados situados encima de las cubas de ácido, mostrando el hormigón valores excesivamente elevados del contenido en cloruros.

El estado actual de la estructura es aceptable, aunque se han recomendado medidas para mejorar la conservación y evitar el progresivo deterioro de las armaduras.

Análisis efectuados

a) *Resistencia de los testigos de hormigón extraídos por corte*

Testigo n.º	Resistencia a la compresión (kp/cm ²)
1	53
2	113
3	124
4	135
5	88
6	158

b) *Análisis químico*

Testigo n.º	Cloruros solubles (% Cl ⁻)
1	1,93
4	0,09
6	0,26

Conclusiones

Se ha comprobado la relación entre el ion cloro y la corrosión de las armaduras. Los contenidos analizados son ya altos y uno en concreto (1,93 %) es tan alto que refleja un ataque directo del ácido al hormigón que ha hecho disminuir en gran manera su resistencia.

BIBLIOGRAFIA

- BICZOK, I.: "Concrete corrosion and concrete protection". Budapest 1964.
- BROCARD, M. J.: "Corrosion des aciers dans le béton armé" Annales de I. T. B. T. P. (junio 1958).
- CALLEJA, J.: "Corrosión de armaduras en los hormigones armados y pretensados" Monografía n.º 256 del I.E.T. Madrid.
- CALLEJA, J.: "El cloruro cálcico en la construcción". Manuales y Normas del I.E.T. Madrid (1957).
- (2) DEL OLMO, C.: "Corrosion de tuberías". Informes de la construcción (1970).
- EVANS, R.: "Introducción a la corrosión metálica". Ed. Marín, 1950.
- (1) MARECHAL, J. C.: "Corrosion des tubes d'acier enrobés dans le béton". Annales de I. T. B. T. P. (Enero 1963).
- "Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa y armado". (Decreto 2.987/1968, de 20 de septiembre de 1968).
- "Lesson from Failures of Concrete Structures". American Concrete Institute.
- "Pliego de Condiciones para la recepción de conglomerantes hidráulicos" (P.C.C.H.-64) Manuales y Normas del I.E.T. (1964).
- "Prescripciones del Instituto Eduardo Torroja (P.I.E.T. 70) Fontanería y saneamiento".