

# CORROSIÓN DE ARMADURAS EN EL HORMIGÓN ARMADO: UNA PROBLEMÁTICA DEL PATRIMONIO MODERNO

## REINFORCEMENT CORROSION IN CONCRETE: A PROBLEM OF MODERN HERITAGE

*L.P. Traversa<sup>1</sup>*

*1.- Investigador Emerito CIC-LEMIT. direccion@lemit.gov.ar*

### RESUMEN

En este trabajo se describe y analiza la problemática de la corrosión de las armaduras observada en construcciones ejecutadas en hormigón armado que integran el patrimonio moderno. Las mismas corresponden a épocas y tipologías diferenciadas, perteneciendo algunas de ellas a la década de 1930 y otras son muchos más modernas, correspondientes a la década del 60. Los ambientes de emplazamiento en la Provincia de Buenos Aires, Argentina, también son diferenciados (ambiente rural y urbano). Se hace una referencia a la introducción en la Argentina del hormigón armado en la década de 1910 y se analizan algunas construcciones emblemáticas. Se presenta un análisis global de la información disponible que corresponde a estudios e inspecciones realizados en el LEMIT y se plantean los mecanismos de corrosión de las armaduras y las causales que le dan origen principalmente el proceso por carbonatación. Se plantea a la corrosión como la patología mas crítica para las obras que integran el patrimonio moderno. Además, se explicitan algunos lineamientos generales sobre las técnicas disponibles para la reparación y mantenimiento de las estructuras afectadas por corrosión.

*Palabras clave: patrimonio moderno, hormigón, corrosión, carbonatación.*

*Trabajo presentado en 2<sup>do</sup> Congreso Iberoamericano y X Jornada “Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, COIBRECOA, La Plata, 2011.*

## ABSTRACT

In this paper it is described and analyzed the problem of reinforcement corrosion shown in those reinforced concrete buildings corresponding to modern heritage. They come from different periods and typologies, being the oldest ones from the 1930s and others corresponding to the 60's decade. The placement environments in the Province of Buenos Aires, Argentina, were also differentiated (rural and urban environment). It is mentioned the introduction in Argentina of reinforced concrete in the 1910s and some emblematic buildings are analyzed. The work includes a global analysis of the available information, corresponding to studies and inspections performed in LEMIT, and the corrosion mechanisms and its origin are presented, especially the carbonation process. The corrosion is posed as the worst problem for the works of modern heritage. Besides, general guidelines are given about the available techniques for repair and maintenance of structures affected by corrosion.

**Keywords:** *modern heritage, concrete, corrosion, carbonation.*

## INTRODUCCIÓN

Es conocido que la Arquitectura Moderna tiene su origen en Europa en las primeras décadas del Siglo XX, siendo su representante más importante el Arq. Charles-Edouard Jeanneret (conocido como Le Corbusier) una de cuyas obras se encuentra en la ciudad de La Plata (Casa Curuchet). Aunque muchos de sus preceptos se continúan empleando en la actualidad, se considera que el Movimiento Moderno vio su final alrededor de la década de los 60, sin que haya surgido una tendencia clara que lo haya sucedido. El Posmodernismo, sin embargo, se refleja en la arquitectura actual en varios aspectos ya que los edificios adoptan a menudo tipologías heredadas del pasado, se recupera el ornamento (columnas, pilastras, molduras, etc.) y se escapa de las formas puras y simples, buscando la yuxtaposición y la mezcla de volúmenes y formas.

Las construcciones que integran el patrimonio moderno se caracterizan entre otros factores, porque los materiales y los requerimientos funcionales determinan el resultado de la obra ("la forma sigue a la función") y por el empleo de nuevas tecnologías y materiales, como por ejemplo el hormigón armado.

El desarrollo científico tecnológico de fines del siglo XIX creó un nuevo material para la

construcción, basado en elementos activos e inertes que unidos conforman el hormigón armado, permitiendo liberar las formas arquitectónicas y convirtiéndose en el material característico de "lo nuevo". En los primeros años del siglo XX en los que se desarrolló el primer ciclo del hormigón armado, las obras del Ing. Auguste Perret muestran una estética propia para el nuevo material, siendo Roberto Maillart, con sus proyectos de puentes, la síntesis de la simbiosis tecnología-estética, que luego descubrieron los arquitectos al reconocer el valor plástico-estructural del hormigón. En 1905, A. Perret, realiza un edificio-manifiesto en París cuya estructura de hormigón se halla a la vista pero sin embargo, no se atreve a dejar completamente desnuda la fachada y coloca, entonces, algunos adornos cerámicos.

Una vez que el hormigón es asumido por la sociedad como un material de confianza, comienza a generalizarse su uso. Fueron, tal vez, los ingenieros estructurales, los primeros en emplear el hormigón armado como ya habían hecho con los perfiles metálicos en la construcción de fábricas, debido a la necesidad de disponer de espacios libres de grandes dimensiones. A fines del siglo XIX, en 1893, se construyó en Alameda, California, el depósito de la Pacific Coast Borax Company, tal vez el primer edificio de hormigón

armado, cuyo diseño tenía fuertes reminiscencias con las estructuras construidas con perfiles de hierro.

En Argentina, los avances tecnológicos se fueron incorporando rápidamente a las obras arquitectónicas e ingenieriles. En la década de 1930, el Arq. Alberto Prebisch plasma una serie de obras vanguardistas, como por ejemplo el Obelisco, en la Plaza de la República, ejecutado en hormigón armado, que es una obra con una fuerte atemporalidad y una vuelta a la esencia de la forma geométrica.

Otro ejemplo, es el edificio Kavanagh, de los arquitectos Gregorio Sánchez, Ernesto Lagos y Luís María de la Torre construido en 1934. Sus arquitectos indicaban que "...Adherimos a las premisas de la arquitectura moderna con geometrías puras y ausencia de adornos, con armonía de mazas y solidez de los elementos constructivos que daba la técnica moderna...". En esta etapa, el movimiento moderno fue impulsado fuertemente por los grupos socio-económicos de mayor poder adquisitivo y, posteriormente, sus conceptos y sus materiales fueron empleados, fundamentalmente, en la construcción de viviendas sociales.

El brutalismo como parte del movimiento moderno tuvo una influencia dentro de la arquitectura institucional argentina ganando espacios a inicios de los años 60 siendo sus manifestaciones más importantes el Banco de Londres (hoy Banco Hipotecario) y el Edificio de la Biblioteca Nacional, ambos de Clorindo Testa, en la ciudad de Buenos Aires. En la ciudad de La Plata, puede citarse como un ejemplo tardío de dicho movimiento el Teatro Argentino (Imagen 1).

La ideología del movimiento moderno se refleja a mediados del siglo XX en una fuerte participación en proyectos de viviendas colectivas, fundamentalmente a fines de los años 60 y 70. Estos conjuntos de viviendas se encuentran en la mayoría de los casos en una compleja situación de deterioro físico unido a los procesos de obsolescencia que



**Imagen 1:** Teatro Argentino, La Plata.

sufren algunos proyectos a través del tiempo como resultado de cambios culturales y funcionales. Por ejemplo se ha informado que "Mendoza tiene barrios de viviendas construidos en la década del 50, que han superado ampliamente la vida útil estimada con criterios mínimos de mantenimiento y, actualmente, viviendas con menos de 5 años de antigüedad presentan importantes patologías y han cumplido su ciclo de utilidad" [1], debido fundamentalmente a la corrosión de las armaduras por una alta porosidad del hormigón.

En lo que respecta a puentes puede plantearse que en el año 1916, se inaugura en la Argentina el primer puente arco oblicuo, diseñado por el Ing. Donato Gerardi (1886-1962), ejecutado en hormigón armado (Imagen 2). El puente se realizó sobre vías del ferrocarril con un ancho del arco de 8 metros. Los otros puentes existentes sobre la misma Ruta Nacional N° 1 habían sido ejecutados en hierro, pero a consecuencia del estallido de la Primera Guerra Mundial y por razones estratégicas, Francia, país proveedor de materiales, suspende las exportaciones. La necesidad de concluir la ruta hizo necesario pensar en alternativas tecnológicas para la construcción del puente faltante.

La decisión de construir un puente en hormigón armado puede plantearse como revolucionaria, ya que el primer documento conteniendo un método



**Imagen 2:** Puente arco de hormigón armado. Gonnet, año 1916, diseño del Ing. Donato Gerardi.



**Imagen 3:** Puente de Hormigón armado, año 1960. Sauce Grande. Ruta Nacional N° 3.

para el diseño del hormigón armado fue publicado por Emil Mörsch en 1902, y los primeros Reglamentos fueron el Suizo de 1903, el Alemán de 1904 y el Francés de 1906.

Este puente se encuentra en servicio, sometido a un intenso tránsito vehicular ya que está emplazado en uno de los principales accesos a la ciudad de La Plata. Se ha detectado el inicio de un proceso corrosivo, fundamentalmente en las armaduras secundarias.

En la década de 1930, en la Provincia de Buenos Aires, en particular durante el gobierno del Dr. M. Fresco (1936-1940) se impulsó, a fin de reactivar la economía y detener la migración interna tras el crack de los años 30, un plan de obras de infraestructura. El estado adopta las ideas del movimiento moderno, tanto en las construcciones de los edificios públicos como en las obras de infraestructura. Durante este período se construyeron más de 200 puentes, en su mayoría de vigas continuas rectas de hormigón armado de 15 metros de luz, conformando un sistema modular. Asimismo, se construyeron importantes puentes arco de tablero inferior, que aún se encuentran en servicio. Ejemplos paradigmáticos son los puentes que se encuentran sobre Río Sauce Grande, en las proximidades de la localidad de Saldungaray, de 52

metros de luz, inaugurado en el año 1937 (Imagen 3), el Viaducto Luján, en la Ruta Nacional N° 5 y el ubicado sobre el arroyo Cochenleufú, próximo a Pigüé, todos ellos en servicio y sin problemas de corrosión generalizada. Debe mencionarse que el Viaducto de Luján se encuentra sometido a un intenso tránsito vehicular.

Entre los ejemplos altamente innovadores de puentes puede citarse el diseñado como un arco con tablero superior, con estructura laminar en hormigón armado, ubicado sobre el Río Quequén Salado en las proximidades de la localidad de Oriente, diseñado por los Ings. C. Luisoni y A. Giacobbe. Construido a principios de la década del 60, sobre un río torrencioso y con profundidades en el lugar de emplazamiento del orden de los 7 metros, originadas en una pequeña represa hidroeléctrica ubicada aguas abajo. Esta situación, unida al ancho del río, llevó a prescindir de apoyos intermedios, eligiendo un arco parabólico biarticulado de tablero superior de 60 metros de luz y 9 metros de flecha. El arco se compone de una lámina plegada de 7 metros de ancho cuya sección transversal adopta la forma de alas de 20cm de espesor, excepto en los pliegues superiores que alcanzan 25 cm. En correspondencia con los pórticos que soportan al tablero, se dispone de tímpanos en el arco del mismo espesor.

La construcción de este puente, por sus características particulares, fue extremadamente supervisada, garantizándose los procesos de calidad. La resistencia de rotura del hormigón alcanzó un valor medio de 42 MPa, empleándose un contenido unitario de cemento portland normal del orden de 380 Kg/m<sup>3</sup>. En la inspección visual realizada, luego de 50 años de vida en servicio, no se detectaron patologías de tipo estructural ni atribuibles al material.

Las estructuras de hormigón armado son proyectadas y construidas para satisfacer durante su vida en servicio un conjunto de requisitos funcionales, sin que se produzcan costos inesperados por mantenimiento y/o reparaciones. Se debe deducir que al alcanzar la vida proyectada la estructura no debe ser demolida, sino que la periodicidad y el costo de mantenimiento se incrementa sensiblemente. En estructuras con valor patrimonial se plantea en esta circunstancia, la necesidad de su reparación y/o recuperación, siendo evidente que algunos componentes no admiten reparación y sólo su reemplazo por otros nuevos garantiza la posibilidad del uso continuado de la estructura, preservando el espacio arquitectónico original.

Las obras se ejecutan en ambientes que interactúan con las estructuras, originando a lo largo de su vida en servicio algunas patologías que pueden afectar su seguridad, su funcionalidad y/o su estética. Dentro de estos comportamientos anormales, la corrosión de las armaduras es tal vez la patología más importante por el porcentaje de estructuras afectadas, alcanzando un valor promedio a nivel internacional y local del orden del 20% [1-5]. Sin embargo, últimos relevamientos informados han indicado porcentajes más elevados cercanos al 40% [6].

En los citados relevamientos se ha considerado que una estructura está afectada por corrosión cuando manifiesta signos externos de dicho proceso (manchas, fisuras, desprendimientos del hormigón de recubrimiento, etc.). Sin embargo, puede

plantearse que todas las estructuras se encuentran en alguna de las etapas en las cuales habitualmente se divide el proceso de corrosión, ya que desde el momento en que se construye la estructura se inicia la difusión de anhídrido carbónico y/o de los cloruros en la red porosa del hormigón de recubrimiento, dando origen al denominado período de iniciación. La velocidad de ingreso y el espacio a recorrer hasta llegar a la armadura (espesor de recubrimiento), son los factores que condicionan la cinética del proceso corrosivo y por lo tanto son los que revisten importancia

### ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE EL HORMIGÓN ARMADO

La unión del hormigón de cemento Portland y el acero ha dado origen al hormigón armado. La adherencia entre ambos materiales otorga integridad a esta unión y la protección a la corrosión que el hormigón ofrece a las barras asegura una determinada vida útil. En el año 1908 la demolición de depósitos de ácido tánico y agua amoniacal en Hamburgo, Alemania, posibilitó verificar la existencia de hierros de anclajes empotrados en el hormigón desde hacía 50 años sin ningún tipo de alteración, confirmando la hipótesis de protección antes mencionada. Además, las barras le confiere un cierto grado de ductilidad a los elementos de hormigón armado que no la tendrían si fuesen de hormigón simple.

La protección que el hormigón confiere a las armaduras de acero empotradas es de doble naturaleza: por un lado, es una barrera física que las separa del medio ambiente y por otro, el líquido encerrado en la red de poros y capilares permite formar una película pasiva sobre su superficie (capa de óxidos muy adherente, compacta e invisible). Esta solución acuosa está constituida principalmente por iones Ca(OH)<sup>-</sup>, a los que se debe su alta alcalinidad. Inicialmente se consideró que el hidróxido de calcio (pH ~ 12,5) era el componente que originaba esa alcalinidad; sin embargo, se ha demostrado que el pH del líquido de poros alcanza valores entre 13 y 14, lo cual se

debe, fundamentalmente, a la presencia también de hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, ya que el ión calcio prácticamente desaparece de la disolución cuando el cemento progresa en su hidratación. La cantidad relativa de cada uno de esos iones depende de la composición química y grado de hidratación del cemento, empleo de adiciones minerales y de la relación agua/cemento.

Esa película impide la disolución del hierro e imposibilita la corrosión de las armaduras, incluso cumpliéndose el resto de las condiciones necesarias para la corrosión (presencia de humedad y oxígeno) implementándose de esta forma uno de los requisitos fundamentales para la viabilidad del hormigón armado como material para la construcción.

Habitualmente se distinguen para los aceros dos tipos de sensibilidades a la corrosión, identificadas genéricamente con los términos sensibles y ligeramente sensibles, siendo los primeros los que tienen diámetro menores o iguales a 4 mm., los que tienen tratamientos (excepto los templados) y los deformados en frío con tensiones permanentes > a 400 MPa. Los ligeramente sensibles son los aceros distintos a los antes mencionados. Se ha demostrado un mejor comportamiento frente a la corrosión de los aceros lisos comparados con los torsionados, debido a su microestructura [7].

La clasificación muestra claramente la influencia negativa de las tensiones remanentes originadas por tratamientos, por ejemplo, estirados o torsionados, sobre la sensibilidad del acero a la corrosión, con excepción del tratamiento de templado que justamente se emplea para liberar a las piezas de tensiones remanentes. Si se entiende al proceso corrosivo como un regreso a la condición natural de estabilidad del metal, aquellos a los cuales se le ha entregado para su elaboración una mayor cantidad de energía, tienen consecuentemente una mayor inestabilidad y resultan más susceptibles de alterarse. En el caso de los diámetros pequeños, la relación área de alteración (superficie de la barra)/agresivo, es mayor que en los de diámetros

superiores a igualdad en el contenido de la sustancia agresiva, por lo cual los procesos son más intensos particularmente cuando existen, por ejemplo, cloruros en la interfase.

Se desprende de lo antes mencionado que aquellas estructuras en las cuales se han empleado, por ejemplo, aceros torsionados, tecnología generalizada a partir de la década del 70 para aumentar las características mecánicas, han presentado una mayor sensibilidad a la corrosión. Esta situación se ve favorecida, además, por la disminución de la sección de las barras que puede efectuarse para soportar igual carga al aumentar la resistencia a tracción del material.

## PATOLOGIAS DEL HORMIGÓN

Los deterioros que una estructura de hormigón simple y armado puede sufrir durante su vida en servicio se deben a distintas causales [8]. En la Figura 1 se describen las causas habituales de deterioro del hormigón armado, separando las debidas al hormigón y a la corrosión de la armadura, haciendo mención en este caso a las causales de carbonatación, contaminantes corrosivos y corrientes parásitas [9].

Es conocido que el proceso de carbonatación se origina cuando el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) del aire, ingresa a la masa del hormigón a través de los poros interconectados con el exterior y en presencia de agua, transforma al hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) según la siguiente expresión simplificada:



Para que se produzca la reacción, es necesaria la presencia de agua, siendo la situación preferencial una humedad relativa comprendida entre 50 y 60%. Cuando el hormigón tiene sus poros capilares saturados, el  $\text{CO}_2$  no puede ingresar y consecuentemente no se origina la carbonatación, situación que también ocurre cuando la red se encuentra totalmente seca. En la Figura 2, se

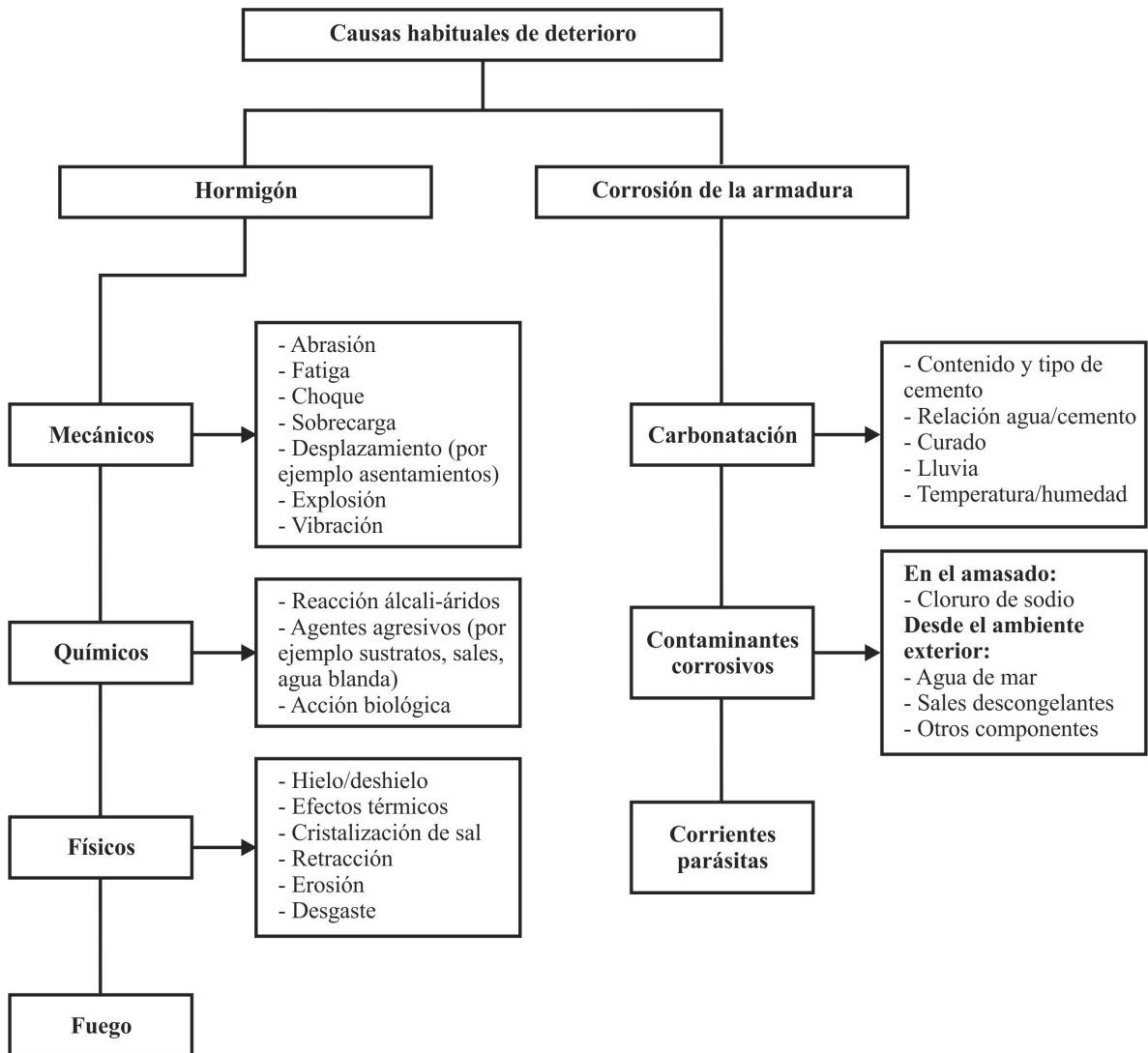


Figura 1: Causas habituales de deterioro del hormigón armado.

esquematiza el proceso de carbonatación en el hormigón armado.

Experimentalmente se ha determinado que el espesor carbonatado es función directa de las características intrínsecas del hormigón de recubrimiento, en especial de su porosidad definida por la relación agua/cemento, la cantidad, tipo y grado de hidratación (tipo y tiempo de curado) del cemento, las condiciones del medio (contenido de  $\text{CO}_2$ , temperatura y humedad) y del tiempo de exposición. Estos parámetros se

pueden vincular, en primera instancia, mediante la siguiente expresión general:

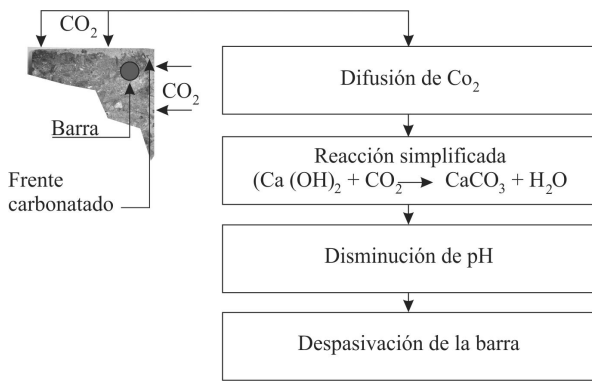
$$d_c = K_c t^{1/2}$$

$d_c$  : distancia que alcanza el frente carbonatado

$t$  : tiempo de exposición

$K_c$ : constante que engloba las variables del hormigón y del medio ambiente.

Para que se origine y desarrolle el proceso de carbonatación es necesaria la presencia de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) en las proximidades



**Figura 2:** Esquema del proceso de carbonatación del hormigón de recubrimiento.

de las estructura. Mediciones realizadas por el LEMIT en distintos ambientes de la provincia de Buenos Aires empleando un medidor de  $\text{CO}_2$  (Marca TESTO modelo 445 con sonda infrarroja), muestran valores del orden de 410 ppm en ambientes urbanos y de 378 ppm en ambientes rurales, observándose diferencias para un mismo ambiente según la ubicación del elemento estructural. En puentes ubicados en ambientes rurales se han detectado diferencias significativas entre la concentración medida sobre la calzada y la determinada debajo de ella, valores que van desde 385 ppm en la parte superior a 440 ppm en la parte inferior. En la Tabla 1 se informan algunos valores de concentración de  $\text{CO}_2$  determinados en ambientes urbanos y rurales. Debe recordarse que la concentración depende del parque automotor, de la densidad poblacional y de la existencia de

un área industrial, siendo también significativa la influencia de los vientos la cual puede aumentar o disminuir la concentración de  $\text{CO}_2$ .

El otro factor desencadenante del proceso de corrosión es la presencia de contaminantes agresivos, fundamentalmente el cloruro que puede ser incluido en el mezclado del hormigón y/o ingresar desde el ambiente exterior, en particular cuando la estructura este ubicada en ambientes marinos o cuando se emplean sales descongelantes en ambientes fríos; no debe olvidarse tampoco los problemas de corrosión debido a corrientes parásitas.

## EDIFICIOS, VIADUCTOS Y PUENTES EVALUADOS

Las estructuras evaluadas en este trabajo corresponden a conjuntos habitacionales, edificios públicos y privados, viaductos y puentes, las cuales presentan características propias del patrimonio moderno, ubicadas en distintos ambientes (Tabla2).

Para la clasificación del nivel de daño por corrosión se emplea la propuesta por el Comité Eurointernacional du Béton [10] el cual califica a los daños de la siguiente forma:

**Nivel A:** signos iniciales de corrosión (manchas de oxido)

**Nivel B:** manchas de oxido y fisuras de espesor  $<0,4$  mm

**Tabla1:** Valores medios y desviación standart (s) de concentraciones de  $\text{CO}_2$  en ambiente urbano y rural.

Ambiente	Ciudad	Cantidad de hab.	Densidad poblacional (hab/Km <sup>2</sup> )	Parque automotor (N°)	CO <sub>2</sub> (ppm)	
					Medio	s
Urbano	Azul	62.996	53,05	23.898	393	2,1
Urbano	Bahía Blanca	295.600	134,18	102.486	413	9,2
Urbano	La Plata	650.000	585,20	310.000	405	1,8
Urbano	Tandil	120.000	21,91	39.712	420	7,5
Rural					378*	19,0

\* Valores tomados en cerros de distintas alturas (de 100 m a 400 m sobre el nivel del mar)

Tabla 2: Estructuras Evaluadas.

Construcción	Año	Edad (años)	Ambiente	Nivel de Daño
Puente Gerardi, Gonnet	1916	95	Semi-urbano	B
Balneario Jockey Club, Punta Lara, Ensenada	1935-40	75	Semi-urbano	A
Puente Río Sauce Grande, Sierra de la Ventana	1937	73	Rural	--
Puente Cochenleufú, Pigüe	1937	73	Rural	--
Puente Río Sauce Grande, Ruta Nac. N° 3	1940	70	Rural	--
Puente Río Quequén Salado, Ruta Nac. N° 3	1940	70	Rural	--
Puente Río Las Mostazas, Ruta Nac. N° 3	1940	70	Rural	--
Edificio LEMIT, La Plata	1942	68	Urbano	A*
Viaducto Luján, Luján	1940	70	Urbano	--
Viaducto Sarandí, Avellaneda	1950	60	Urbano	B
Casa Curuchet, La Plata	1950	60	Semi Urbano	A
B° Gral. San Martín – CABA	1950	60	Urbano	A
B° Simón Bolívar – CABA	1953	57	Urbano	A
Esc. Agraria N° 801 "N. Ezeiza" Cnel. Vidal	1960	50	Rural	E
Puente Río Quequén Salado, Oriente	1960	50	Rural	A*
Sanatorio Anchorena, CABA	1940	70	Urbano	--
Puente Ferroviario 1 y 520, La Plata	1963	47	Urbano	--
Iglesia María Ignacia, Vela, Tandil	1964	47	Rural	D
Iglesia Santísima Eucaristía, Chivilcoy	1965	46	Urbano	--
Iglesia Ntra. Sra. del Carmen, Tandil	1965	46	Urbano	--
Puente Arroyo Chapaleufú, La Pastora	1966	45	Rural	--
Puente Canal 1, Ruta Nac N°11	1970	40	Rural	C
Conjunto habitacional, La Plata	1970	40	Urbano	--
Puente Arroyo El Perdido, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	B
Puente Arroyo Langueyú, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	A*
Puente Canal 11, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	A*
Puente Arroyo El Zapallar, Ruta Prov. N° 29	1975	35	Rural	B
Puente Río Salado, Pila	1975	35	Rural	A
Edificio LAL, Gonnet	1975	36	Semi-urbano	--
Conjunto habitacional, L. Piedrabuena - CABA	1975	35	Urbano	C
Iglesia del Carmelo, La Plata	1976	35	Urbano	--
Escuela Superior de Bosques, La Plata	1980	30	Urbano	C
Teatro Argentino, La Plata	1985	25	Urbano	--

\* Corrosión localizada en sectores específicos de la estructura

**Nivel C:** desprendimientos del recubrimiento y fisuras de mayor espesor

**Nivel D:** reducción de la sección de las barras.

**Nivel E:** flexión y pandeo de elementos estructurales con reducción de la sección de las barras mayor a 10%.

De acuerdo a las inspecciones visuales realizadas y a los resultados de los ensayos surge que en muchas de las estructuras inspeccionadas, el hormigón se encuentra afectado por procesos de corrosión de las armaduras en sus distintas etapas. El 44% del total de las estructuras inspeccionadas no presentan procesos de corrosión, mientras que un 41% presenta manchas de oxido y fisuras con un espesor menor a 0,4 mm. El resto presenta signos de un nivel avanzado de corrosión. Si bien el número de estructuras no es elevado las mismas han sido elegidas al azar por lo cual los resultados obtenidos tienen un peso relativo importante.

El proceso de corrosión se ha desencadenado debido a la despasivación de las barras por carbonatación del recubrimiento, con excepción de dos (2) casos en los cuales se origina por la incorporación de cloruro de calcio como acelerador de la resistencia, situación rutinaria en Argentina hasta el año 1964 en el cual se limitó expresamente su uso.

Para la reparación de estructuras de hormigón debe determinarse primeramente si el nivel de

daño alcanzado no pone en riesgo la estabilidad estructural. Para la reparación se debe determinar cuáles son las propiedades de los materiales (hormigón y acero) y el grado de deterioro de los mismos mediante ensayos y determinaciones in situ o en laboratorio. Del análisis de los resultados se deberá evaluar cuál será el grado de intervención, si se desea volver al estado original o si alcanza con mantener el estado actual de deterioro, en esos casos el tratamiento y las técnicas a emplear serán diferenciadas. En la Figura 3 se esquematiza la vida de útil de una estructura considerando la vida ideal o de proyecto, la vida real (estructura con patología) y las formas de restauración o mantenimiento [8].

En lo que respecta a la estrategia a adoptar en el caso de la corrosión de la armadura existen distintas alternativas que pueden emplearse que van desde la restauración o preservación de la pasividad hasta la implementación de una protección catódica. En la Tabla 3 se indican los principios y métodos que pueden utilizarse, cuya selección dependerá de la causa que originó la corrosión y en el caso que el hormigón presenta patologías también deberá ser reparado conjuntamente a fin que el material hormigón armado pueda tener una vida remanente compatible con la vida de diseño de la estructura, cobrando importancia en este caso, el carácter patrimonial de la construcción.

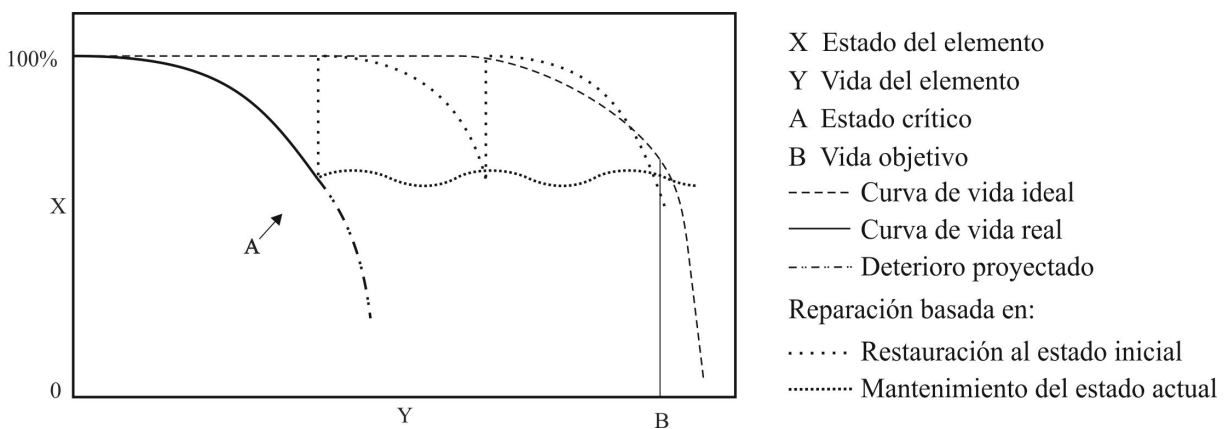


Figura 3: Esquema de vida útil de una estructura.

**Tabla 3:** Principios y métodos relativos a la corrosión de la armadura.

Principio	Método
Preservación y restauración de la pasividad	Aumento del espesor de recubrimiento con mortero u hormigón.
	Reemplazo del hormigón contaminado o carbonatado.
	Realcalinización del hormigón carbonatado.
	Extracción electroquímica de cloruros.
Incremento de la pasividad	Impregnación hidrófuga.
	Revestimiento.
Protección catódica	Aplicación de un potencial eléctrico.
Control de zonas anódicas	Revestimiento activo de la armadura.
	Revestimiento de protección de la armadura.
	Aplicación de inhibidores de corrosión en o sobre el hormigón.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los estudios y relevamientos de construcciones (edificios, iglesias, puentes, etc.) de hormigón armado que, por sus características integran el Patrimonio Moderno de la Provincia de Buenos Aires, indican claramente distintas situaciones en lo relativo a su comportamiento a lo largo de su vida en servicio, siendo la corrosión de las armaduras la temática más crítica a pesar que los ambientes de emplazamiento pueden considerarse como de agresividad media o mínima. En el relevamiento realizado el porcentaje de obras afectadas por corrosión (en todas sus etapas) alcanzó un valor elevado del orden del 56%.

El diseño estructural, que incluye la distribución arquitectónica y la selección ingenieril de las formas estructurales, tiene una significativa importancia, concepto que se aparta del enfoque tradicional que centra exclusivamente el comportamiento en servicio de las estructuras en la calidad de los materiales. Es conocido que los problemas de desagüe o estancamiento de agua, que se encuentran fuertemente vinculados con el diseño estructural, son factores determinantes en la durabilidad de las estructuras afectadas por procesos corrosivos. Los diseños simples y robustos de las estructuras originan, en la mayoría

de los casos, un comportamiento adecuado respecto a su durabilidad, situación que puede observarse en la mayoría de las construcciones de antigua data. Puede plantearse además, que en lo que respecta a la corrosión de las armaduras, se encuentra condicionada, entre otros factores, por la sensibilidad del acero a ser corroído y por la porosidad y espesor del hormigón de recubrimiento.

En la actualidad existen tecnologías apropiadas para reparar estructuras afectadas por corrosión o en su defecto mantener a través del tiempo la condición del proceso sin que el mismo incremente los daños relativos a la capacidad resistente, de funcionamiento o estética.

En casos extremos, en que el grado de corrosión presente una magnitud que hace irreversible técnica y/o económicamente la reparación y cuando la construcción revista un particular significado patrimonial, puede ser reconstruida totalmente preservando únicamente el espacio arquitectónico, como por ejemplo el edificio Normadie de la ciudad de Mar del Plata, construido a fines de la década de 1930, que por el grado de deterioro que presentaba y luego de numerosas intervenciones, se decidió en el año 2001 su demolición y posterior reconstrucción.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Maldonado, N.G. et al. "Patología, durabilidad y calidad de hormigones para viviendas de interés social y la normativa nacional en zona de elevado riesgo sísmico". 16° Reunión Técnica AATH, Mendoza, Argentina, 2006.
- 2.- A. A. Di Maio, J.D. Sota & L.P. Traversa. "Patología de estructuras de hormigón. Análisis de algunos casos mas relevantes ocurridos en la Argentina en los últimos años". Proc. III Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y V Congreso Iberoamericano de Control de Calidad. La Habana, Cuba, 1999.
- 3.- L.P. Traversa, A.Gioivambattista, A.A. Di Maio, & L. Eperjesi. "Performance of concrete structures in Argentine environments". Proc. Symposium Structures for the Future. The Search for Quality". IABSE, Río de Janeiro, Brasil, 1999.
- 4.- GEHO. Grupo Especial del Hormigón, Proc. Encuentro sobre Patologías de Estructuras de Hormigón. Boletín 10. Madrid, España, 1992.
- 5.- Dal Molin, D. "Fissuras en Estructuras de Concreto Armado: Análisis das manifestacoes típicas e levantamento de casos ocurridos no Estado do Rio Grando do Sul". Curso de postgrado, Universidad Federal de Rio Grando do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1988.
- 6.- Traversa, L.P. "Evaluación y diagnóstico de Puentes de Hormigón Armando ubicados en ambientes rurales y marinos". 16° Reunión Técnica AATH, Mendoza, Argentina, 2006.
- 7.- Barbosa, M.R., Martinic, M. y Gassa, L.M. "Estudio comparativo del comportamiento frente a la corrosión de aceros lisos y torsionados de armaduras de Hormigón". Anales del XVII Congreso de la Sociedad Iberoamericana Electroquímica. Trabajo B-57, Buenos Aires, 2006.
- 8.- Traversa L., Villagran Zacardi Y., Iloro F., Marquez S. "Análisis de patologías detectadas en edificios de patrimonio moderno ejecutados en hormigón armado" PATORREB 2009, Porto, Portugal.
- 9.- Norma EN 1504-9. Setiembre de 2008.
- 10.- Comite Eurointernational du Béton (CEB). Bulletin N° 162.