

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**Procedimiento para mantenimientos correctivos en  
estructuras de hormigón armado afectada por la  
corrosión.**

**Autor: Raúl Castillo Puing**

**HOLGUÍN 2022**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**Procedimiento para mantenimientos correctivos en  
estructuras de hormigón armado afectada por la  
corrosión.**

**Autor: Raúl Castillo Puing**

**Tutora: MS.c. Violeta Salgado Fernández**

**HOLGUÍN 2022**



## PENSAMIENTO

*La ciencia es respecto al alma lo que es la luz respecto de los ojos, y si las raíces son amargas, los frutos son muy dulces.*

Aristóteles

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.



## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo con todo mi amor porque se lo merecen a:

A mi madre, porque solo con su sonrisa todo esto ya mereció la pena.

A ese hombre comprensivo y amable que ha sido un referente para mí, mi padre.

A mi hermana Leidis, que ha estado en los momentos que más la he necesitado brindándome su apoyo.

Gracias de todo corazón porque por ustedes llegué hasta aquí y por ustedes pienso seguir.



## AGRADECIMIENTO

Quiero dar mis más sinceros agradecimientos a:

A mi madre amada, por apoyarme, ayudarme y llevarme de la mano en todo momento.

A mi hermana, que ha estado presente en toda mi formación. A mi padre, que siempre han confiado en mí.

A todos mis amigos, porque fueron un ejemplo a seguir para mí, y gracias a ellos estoy aquí.

A los impulsores de este gran motor, mi tutora Violeta, que ha sabido guiarme hasta el final.

A mi hermano, que me ha brindado todo su apoyo emocional, que, aunque no esté presente, su luz está guiándome.

A Iván, a Ainier, Sandra, Zorrilla, Rene, David, Juan Carlos y más que mis mejores amigos somos familia y nunca se rindieron conmigo. Esta vida no me alcanza para agradecer todo lo que hicieron por mí, mil gracias de todo corazón.

Para todo aquel que durante este tiempo estuvo a mi lado ayudándome y apoyándome llegue mi más sincero agradecimiento, **GRACIAS**.



## INDICE

RESUMEN .....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS–METODOLÓGICOS DEL ANÁLISIS DE LOS MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO AFECTADAS POR LA CORROSION.....</b>	<b>6</b>
1.1 Los mantenimientos, conceptos, objetivos y funciones. ....	6
1.2 Las estructuras de hormigón armado. Propiedades generales. ....	10
1.2.1 La corrosión en estructuras de hormigón armado. ....	12
1.2.2 Limitaciones en la durabilidad de los periodos de mantenimientos correctivos en las estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión. ....	26
1.3 Evaluación y diagnóstico de los procedimientos para la realización de mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión. Experiencias internacionales y nacionales... ..	29
Conclusiones parciales .....	33
<b>CAPITULO II: PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO AFECTADAS POR LA CORROSION. ....</b>	<b>35</b>
2.1 Concepciones metodológicas para el diseño del procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.....	35
2.2 Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión. ....	39
2.3 Valorar la factibilidad del procedimiento mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión mediante el criterio de especialista.....	48
Conclusiones parciales .....	52
Conclusiones.....	53
Recomendaciones.....	54
BIBLIOGRAFÍA .....	55
ANEXOS .....	57
Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.	



## RESUMEN

El concreto reforzado con varillas de acero es uno de los materiales de construcción más ampliamente usados, sin embargo las estructuras que los emplean tienen el inconveniente de ser susceptibles a la corrosión. El problema del deterioro de las estructuras de concreto debido a procesos de corrosión es serio y de implicaciones económicas mayores. La habilidad para evaluar la corrosión de las varillas de refuerzo en estructuras y poder estimar la vida en servicio remanente es tema de estudios en el ámbito mundial.

No obstante los grandes avances tecnológicos mundiales, el problema de la corrosión sigue sin ser entendido completamente, debido principalmente a la complejidad del proceso. Para tratar de establecer las bases que rigen el fenómeno de la corrosión, se presentan temas elementales que permitirán al lector comprender las bases del fenómeno.

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.



## ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the construction materials more thoroughly used; however its steel bars have the inconvenience of being potentially susceptible to be damaged by corrosion. The problem of the concrete structures degradation due to rebar corrosion processes is serious and of major economic implications. The ability to assess the corrosion severity of these bars for maintenance and inspection scheduling and the use of corrosion data for predicting their residual life span, are topics of study in some places of the world. Institute of Transportation of Mexico is currently studying this effect in all the 10,000 reinforced bridges of the federal highway network of the country.

To prevent corrosion, to interpret corrosion phenomena, or to predict the outcome of a corrosion situation for conditions other than those for which exact description can be found, the reader should be able to apply the knowledge of the corrosion fundamentals detailed in this work. Even with all the available generalized knowledge of the principles, corrosion is in most cases a very complex process in which the interactions among many different reactions, conditions, and synergistic effects must be carefully considered.

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.





## INTRODUCCIÓN

En las construcciones es comúnmente reconocida la estrecha relación de dependencia entre la calidad y la durabilidad, como resultado de la intervención de diferentes factores que determinan la más plena explotación de la edificación durante su vida útil. Esto es, conceptualmente el tiempo que se fija para el uso de una construcción o de sus componentes, con la misma seguridad y eficiencia con que se proyectó y ejecutó, y el papel primordial que desempeña una consecuente gestión y aseguramiento de la calidad en cada parte del proceso edificatorio y durante su período de servicio.

La corrosión del acero en el hormigón es un problema a nivel mundial que causa miles de dólares de pérdidas en reparación para mantener la funcionalidad de la infraestructura. El riesgo potencial de la corrosión en las estructuras es muy impredecible, por lo que su monitoreo, predicción, prevención y rehabilitación del daño del acero por corrosión en estructuras de concreto ha sido una importante área de interés en la investigación. Las casuísticas asociadas a los procesos de corrosión de las armaduras son diversas, y muchas de ellas han sido objeto de numerosos estudios. La corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, lo que produce el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas.

Cuando el factor determinante del deterioro de la estructura es la corrosión de armaduras, el periodo de vida útil de la misma queda determinado por la suma del tiempo necesario para que se produzca la despasivación de la armadura y es necesario para que el proceso de corrosión produzca un grado de deterioro no aceptable para el tiempo de la estructura.

El mantenimiento de una estructura es tan importante como la propia construcción del inmueble, ya que de nada vale tener un nuevo proyecto recién terminado con materiales y procesos constructivos de alta calidad, creado para soportar una vida de hasta 50 años, si no se cuenta con la planificación para sobrellevar ese tiempo y asegurar tanto el funcionamiento estructural como el servicio. Por esta razón es que se deben invertir recursos, tanto económicos como humanos, en atender las estructuras. (A. Cobo Escamilla.2001)

Todo lo expuesto nos conduce al **problema de investigación**: limitaciones en los procedimientos para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión, lo que dificulta alargar los periodos de su vida útil.

De acuerdo con lo anterior se define como **objeto de la investigación** mantenimientos correctivos

Por lo que se declara como **objetivo de la investigación**: diseñar un procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión, que permita alargar los periodos de vida útil.

Para su cumplimiento se establecen los **objetivos específicos** siguientes:

- Estudiar el marco teórico referencial de los mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.
- Diseñar un procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión
- Valorar la factibilidad del procedimiento mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión mediante el criterio de especialista.

Se plantea como **campo de acción** las estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión. Para dar solución al problema científico mostrado se formuló la **hipótesis de la investigación**: si se diseña un procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado la gestión ambiental urbana para la preservación desde lo medio ambiente de edificaciones con valor patrimonial a través de la planificación-organización, regulación-ejecución, monitoreo-control de las acciones a desarrollar, entonces se contribuye al cuidado, amparo y defensa de dichas construcciones.

En el desarrollo de la investigación se utilizan **métodos del nivel teórico**:

- Análisis y síntesis de la investigación para descomponer los mantenimientos correctivos en relación a las afectaciones que presentan las estructuras de hormigón armado ante la corrosión a partir de ese análisis sintetizar el contenido a tratar.

- Inductivo – deductivo para analizar los enfoques que puedan integrar los mantenimientos correctivos para minimizar las patologías que se presentan en estructuras de hormigón armado ante la corrosión más exhaustiva y eficiente.
- Histórico – lógico para conocer la evolución histórica de los mantenimientos correctivos para minimizar las en el proceso investigativo, para determinar las regularidades.
- Sistémico – estructural para desarrollar un análisis del objeto de estudio, tanto teórico como práctico, a través de su descomposición en los elementos que lo integran; así se determinan las variables que más inciden y su interrelación como el resultado de un proceso de síntesis.
- Hipotético – deductivo para la elaboración de la hipótesis y las posibles soluciones en las diferentes etapas de análisis.

#### **Métodos del nivel empírico:**

- Entrevistas y encuestas a profesores de la universidad de Holguín y a especialistas de las instituciones encargadas de los planes de mantenimientos en la provincia de Holguín para obtener información del estado actual del problema que se investiga.
- Observación científica permite profundizar en el problema, determinar insuficiencias y percibir el procedimiento para la realización de mantenimientos correctivos.
- Criterio de especialista en la evaluación de la calidad y pertinencia de los resultados obtenidos, con el objetivo de modificar todos los aspectos que sean necesarios.

El **aporte** de esta investigación es el diseño de un procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión la con una visión que contribuya a minimizar tiempo, impuesto, liquidez, singularidades. Además, la propuesta integra conceptos y herramientas pertinentes en respuesta a las demandas sociales y al marco jurídico vigente en las transformaciones realizadas a los lineamientos en el 8vo Congreso de PCC 68,69 y 175 y los objetivos de desarrollo sostenible hacia la agenda 2030 aprobados por la Organización de Naciones Unidas. En el ámbito

práctico el valor del procedimiento esta dado en la pertinencia y factibilidad comprobada con la opinión de los especialistas. La investigación responde a la línea de investigación de la Universidad de Holguín correspondiente al tema de Innovación para el desarrollo sostenible.

La **novedad** científica de la propuesta es que constituye un instrumento de trabajo para los especialistas vinculados al tema, lo que facilita un procedimiento que permite obtener mejores resultados en la realización de mantenimientos correctivos. Esta responde a la problemática que presentan las estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.

La **actualidad** del tema de investigación tributa al proyecto de Gestión del Desarrollo Urbano desarrollado en el Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín. Además, contribuye a la línea de investigación del Sistema de Gestión Integrado de Recursos Ambientales, Proceso Constructivo y Urbano. Esta línea de investigación responde a diferentes áreas de conocimiento, ésta hace referencia a la resistencia físico y espacial de los elementos estructurales y edritécnicos, naturales y urbanos.

El cuerpo de la tesis se estructura en dos capítulos. En el primer capítulo se muestran el marco teórico-práctico referencial de los mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión, con una pequeña mención del campo de estudio con el que se va a trabajar. En el capítulo II se expone una propuesta de procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión. Además, se instrumenta la aplicación de la propuesta con el objetivo de comprobar su factibilidad a partir del criterio de especialistas. Se incorporan las conclusiones, recomendaciones y un conjunto de anexos que ayudan a comprobar el procedimiento propuesto.



## CAPITULO I: FUNDAMENTOS TEÓRICOS–METODOLÓGICOS DEL ANÁLISIS DE LOS MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO AFECTADAS POR LA CORROSION

El presente capítulo está estructurado de modo que muestre el estado actual de la teoría y la práctica sobre las temáticas objeto de estudio. Permite, además, establecer las bases de la investigación. Los objetivos de este son:

- Definir los principales aportes teóricos y limitaciones prácticas en los mantenimientos correctivos y su relación con las estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión desde con una visión de sus objetivos y sus funciones principales.
- Analizar, tanto a nivel teórico como práctico, las propuestas existentes para los mantenimientos correctivos y su relación con las estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión, en lo relacionado con: objetivos, medios, alcance y procedimientos para el mantenimiento de dichas estructuras.
- Evaluar y diagnosticar los procedimientos para la realización de mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión, tanto en el mundo como en Cuba

### 1.1 Los mantenimientos, conceptos, objetivos y funciones.

Hoy el mantenimiento requiere un enfoque global que lo integre en el contexto empresarial con la importancia que se merece. Su rol destacado en la necesaria orientación a los negocios y resultados de la empresa es garantizado por su aporte a la competitividad a través de asegurar la confiabilidad de los activos de la organización.

El presente trabajo presenta un enfoque que cumple estos requisitos y que como su nombre lo indica se orienta a la Optimización Integral del Mantenimiento, alineada con el objetivo principal del negocio. Se presenta además con sus aspectos de Estrategias, Recursos de los Humanos, Recursos Materiales y Sistemas y Procedimientos, desarrollando cada uno de ellos en sus aspectos conceptuales y de implementación. Finalmente se muestra de manera breve, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, herramienta principal en la definición de estrategias de mantenimiento de activos físicos en su contexto de operación.

Aunque el concepto de mantenimiento ha sido más utilizado en los procesos e instalaciones industriales, se ha extendido a los procesos constructivos de edificaciones, y en ambos sectores cada día se trabaja más para realizar mantenimientos, que permitan realizar las acciones, antes de que

constituyan problemas. Entre las definiciones de mantenimiento está la de “Conservar la planta industrial, los edificios, los servicios y las instalaciones en condiciones de cumplir con la función para la cual fueron proyectados, con la capacidad y la calidad especificadas, pudiendo ser utilizados en condiciones de seguridad y economía de acuerdo a un nivel de ocupación y a un programa de uso definidos por los requerimientos de utilización (Babé, 1998).

Manuel Babé Ruano describe dos definiciones de mantenimiento en las construcciones: La primera refiere que es un trabajo periódico de carácter preventivo y planificado que se realiza en las propiedades y capacidades funcionales que son afectadas por la acción del uso, agentes atmosféricos o su combinación, sin que sus elementos componentes fundamentales sean objeto de modificación, o sustitución total o parcial. Su planificación se basa en la durabilidad de sus elementos componentes. La segunda lo define como que tienen realizarse de forma cíclica para la atención de los equipos y elementos componentes de las construcciones a fin de subsanar sus deficiencias, y mantener de manera eficaz los servicios que brindan con énfasis especial en aquellas partes que por su uso continuado o por su ubicación se encuentran más expuestos al deterioro (Tavarés, Lourival ;2004)

Al analizarlo desde su concepto y sus diferentes modalidades, permite evaluar y decidir que en dependencia de las necesidades que presentan las edificaciones, así será el tipo de mantenimiento que se tiene que realizar lo que permite mayor seguridad, así como la facilidad y factibilidad de su ejecución dentro de los que se encuentran:

**Mantenimiento Correctivo:** comprende el que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo o instalación.

Se clasifica en:

**Mantenimiento Correctivo Planificado:** se sabe con antelación qué es lo que se tiene que hacer debe, de modo que cuando se necesite efectuar la reparación, se disponga del personal, los repuestos y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente.

**Mantenimiento Correctivo No Planificado:** es el mantenimiento de emergencia reparación de roturas. Debe efectuarse con urgencia, ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales. Se realizan cuando ya el fallo se ha producido y es más una reparación que un mantenimiento, no se ejecutará sistemáticamente, sino cuando, a pesar de las medidas tomadas, ocurre el desperfecto. (Díaz ,2006)

**Mantenimiento Preventivo:** cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de prevenir la ocurrencia de fallas. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Directo aquel cuyas actividades están controladas por tiempo, se basa en la confiabilidad

de la instalación, sin considerar las peculiaridades de esta, asumiendo que siguen un comportamiento estadístico conocido.

Mantenimiento Predictivo: detectar las fallas antes de que se desarrollen en una rotura u otras interferencias, está basado en inspecciones, medidas y controles del nivel de disponibilidad de la instalación. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Indirecto, este también se encarga de verificar muy de cerca la interrelación entre la instalación y su entorno real. Los beneficios del Mantenimiento Predictivo son difíciles de cuantificar ya que no se dispone de métodos típicos para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación. Por ello se usan sistemas informales basados en los costos evitados, indicándose que, por cada unidad monetaria gastada en su empleo, "se economizan otras 10 unidades monetarias en costos de reparación.

Es reconocible que en los dos puntos anteriores los mantenimientos se clasifican diferente, pero tienen un mismo fin (prevenir), es por ello que estos no están en competencia, por el contrario, el Mantenimiento Predictivo permite decidir cuándo hacer el preventivo, estos deben ser establecidos por profesionales, en el momento de diseñar y concebir la edificación. Este es el tipo de mantenimiento que dada la peculiaridad, complejidad y nivel de seguridad que requiere el Laboratorio, es el factible y en el que se basa la propuesta para la confección del documento que agrupará las medidas técnicas necesarias para la correcta explotación y mantenimiento en el inmueble con riesgo biológico. Mantenimiento de Mejora. Consiste en modificaciones o agregados que se pueden hacer a las instalaciones, si ello constituye una ventaja técnica y/o económica y si permiten reducir, simplificar o eliminar operaciones de mantenimiento.

Mantenimiento Productivo Total: es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae sólo en el departamento de mantenimiento, sino en toda la estructura de la empresa o institución responsabilizada con el tema. "El buen funcionamiento de las instalaciones depende y es responsabilidad de todos. (Plan andaluz de vivienda y suelo.. 2002)

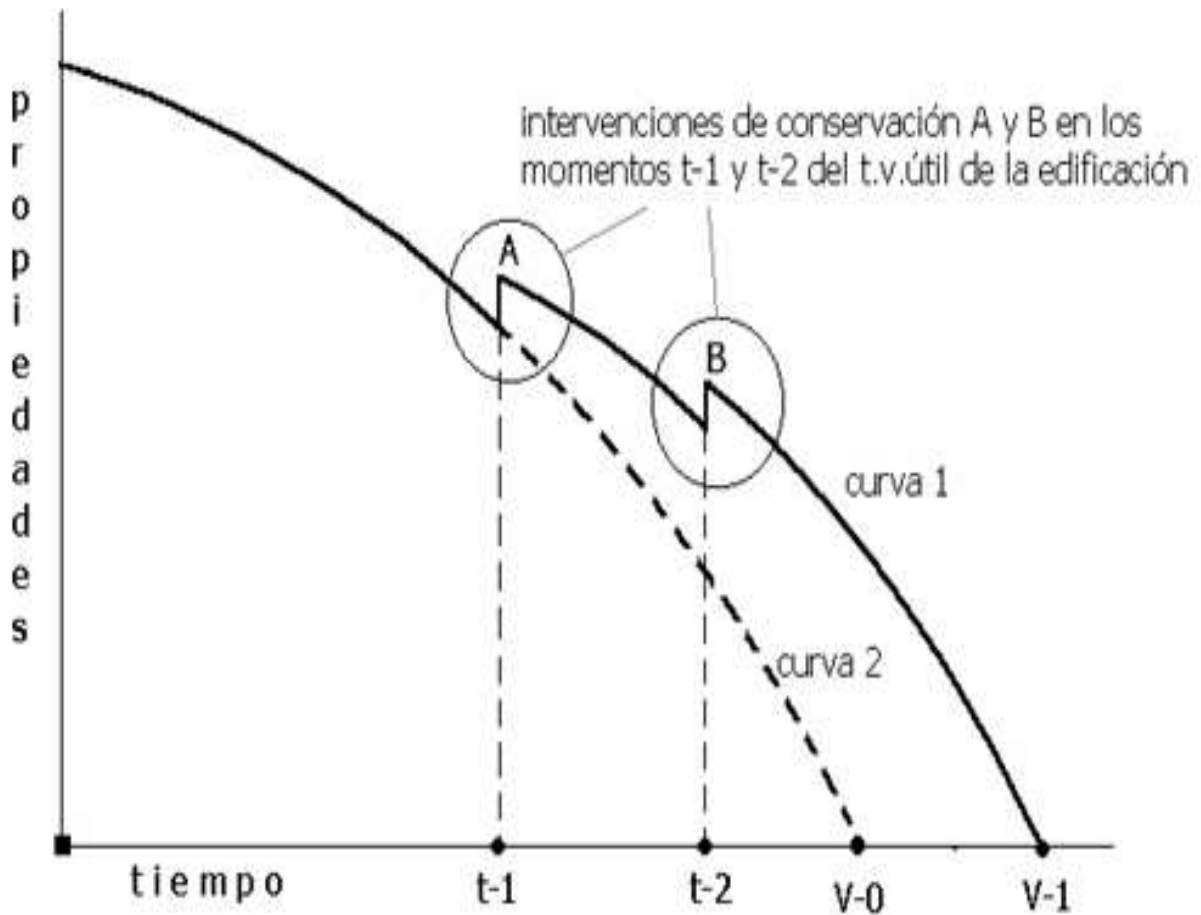
Beneficios del mantenimiento con carácter anticipado.

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar las fallas sobre las edificaciones.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.
- Evitar detenciones inútiles de procesos establecidos.
- Evitar accidentes y aumentar la seguridad para las personas.



- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Prolongar la vida útil de las instalaciones.

En la figura 1.1, se expresa el fundamento de la necesidad técnica de las acciones de mantenimiento, para el logro de la durabilidad prevista en la edificación.



**Figura 1.1: fundamento de la necesidad técnica de las acciones de mantenimiento.**

**Fuente: Gunter 2005**

El gráfico contrapone el comportamiento de un edificio que, además de las acciones de

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.

mantenimiento recibe intervenciones correctivas en dos momentos de su vida (curva 1), con lo que fuera su comportamiento en caso de no beneficiarse con estos trabajos (curva 2). En el primer caso se logra alcanzar una mayor vida útil (V-1) respecto a lo que se lograría sin intervenciones de conservación (V-0).

Si bien el mantenimiento sistemático es una labor que debe hacerse durante toda la vida del edificio, a partir de los 5 ó 10 años de explotación, tales tareas preventivas deben irse conjugando con reparaciones menores y la reposición de determinados elementos de menor vida útil (representado en la Gráfico 2 con los momentos  $-t_1, t_2, \dots, t_n$ ), con el objetivo de lograr una utilización más plena de la edificación y su mejor y mayor durabilidad.

Los expertos en mantenimiento son repetidamente confrontados respecto a: ¿Cuál es el método de mantenimiento más eficaz? Y la respuesta a esta interrogante “la combinación correcta de todos los métodos disponibles.”

Los criterios de mantenimiento antes vistos, y la combinación eficaz de elementos de cada uno de éstos, pueden incidir positivamente en cualquier edificación, como se aprecia en el no.2, más aún cuando se trate de un inmueble de característica especial. Es por ello que el trabajo se encamina a alargar la vida útil y el correcto estado técnico, a través de medidas establecidas desde la fase de proyecto.

## 1.2 Las estructuras de hormigón armado. Propiedades generales.

El hormigón es uno de los materiales más importantes en la industria de la construcción actual. Su empleo va desde pequeñas reparaciones hasta grandes obras civiles que comenzaron a construirse desde principios del siglo XX con el comienzo de la fabricación industrial del cemento Portland, pasando por la mayoría de edificios y viviendas del mundo entero.

Para tener una idea del consumo anual de este material, basta decir que es 5 veces mayor que el del acero. Esto se debe a su gran versatilidad en formas, acabados y tamaños; excelentes propiedades mecánicas; elevada durabilidad frente a determinados agentes que resultan agresivos para otros materiales; fácil disponibilidad y bajo costo relativo. Las primeras construcciones de hormigón armado datan de mediados del siglo XIX. Eran elementos parciales de algunas construcciones como terrazas y macetas jardineras. Las dos primeras décadas del siglo XX fueron una etapa de búsqueda, estudio y prueba y a partir de la década del 30 se extendió notoriamente el uso del

hormigón armado en construcciones civiles, viales y estructurales en general (M. Fernández Cánovas 2002).

En nuestro país, entre las primeras construcciones de hormigón armado, podemos citar el edificio Kavanagh, torre de departamentos situada en el barrio de Retiro, inaugurado en el año 1936, y que fue en su momento el edificio de hormigón armado más alto de Sudamérica. De esa misma época data el Obelisco de la ciudad de Buenos Aires, monumento hueco de hormigón armado que se halla en la Plaza de la República.

El hormigón es, por su naturaleza, un sistema heterogéneo constituido esencialmente por una matriz endurecida (mezcla del cemento, arena y agua) en la que se sitúan internamente partículas o fragmentos de áridos (generalmente cantorodado o piedra granítica). El resultado es un material que presenta una estructura porosa, la cual desempeña un papel muy importante en las propiedades mecánicas y en su durabilidad. Por su parte, el hormigón armado (o reforzado) es una matriz de hormigón que contiene barras de acero en su interior (armaduras).

Las excelentes propiedades de este material se deben a la combinación de la resistencia a la compresión, propia del hormigón, y a la alta resistencia a la tracción que le transfiere el acero (P. Schiessl. 1996). Las armaduras empleadas en el hormigón armado pueden utilizarse como barras de acero (lisas o aleteadas), alambres de acero o mallas de acero soldadas. El acero utilizado debe cumplir, como mínimo, con determinadas características mecánicas que incluyen límite de fluencia, resistencia a la tracción, alargamiento porcentual de rotura, aptitud al doblado y desdoblado, entre otros requisitos adicionales que pueden ser exigidos dependiendo de la aplicación, como ser soldabilidad y resistencia a la fatiga.

Actualmente esas características están indicadas en las normas del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales conjuntamente con el Instituto Argentino de Siderurgia. Ellas son la norma IRAM-IAS U500-528 de carácter general y la norma IRAM-IAS U500-207 para las armaduras sometidas a soldadura. La composición química establecida en el primer caso limita el contenido máximo de P y S; y en el segundo agrega al N y limita el contenido de C (0,24%). Además de las ventajas estructurales que resultan de la combinación de ambos materiales (hormigón y armaduras de acero), el hormigón actúa como barrera física de las armaduras respecto del medio ambiente y posee características químicas que le ofrecen al acero una apropiada protección contra la corrosión.

No obstante, ello, con el tiempo el hormigón armado se deteriora, tanto debido a procesos de degradación del propio hormigón, como a la corrosión de las armaduras. Las causas de la degradación han sido ampliamente estudiadas y, si bien se conocen los métodos para evitar fallas catastróficas, la realidad es que los accidentes siguen ocurriendo y en la mayoría de los casos se deben a la falta de conocimiento de las medidas de precaución así como, mucho más tristemente, a la negligencia (Alaejos, P.

1998). Contrariamente a la creencia popular, el hormigón es un material extremadamente complejo y su comportamiento en servicio depende de los materiales utilizados para su fabricación, de los procesos de elaboración, de la estructura de la cual forma parte y del medio ambiente en el cual se encuentra emplazado.

### 1.2.1 La corrosión en estructuras de hormigón armado.

En condiciones normales, el hormigón provee de un ambiente protector al acero de refuerzo ya que su elevada alcalinidad ( $\text{pH} > 12.5$ ) hace que el acero se encuentre en un estado denominado pasivo, siendo su velocidad de corrosión despreciable. Sin embargo, la presencia de agentes agresivos (cloruros, sulfatos y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )) en la superficie de las armaduras puede causar la pérdida de pasividad del acero y crear condiciones propicias para el inicio de la corrosión de las armaduras ( E. Ramírez Cruz 1994).



Figura 1.2: Tipos de corrosión en la armadura.

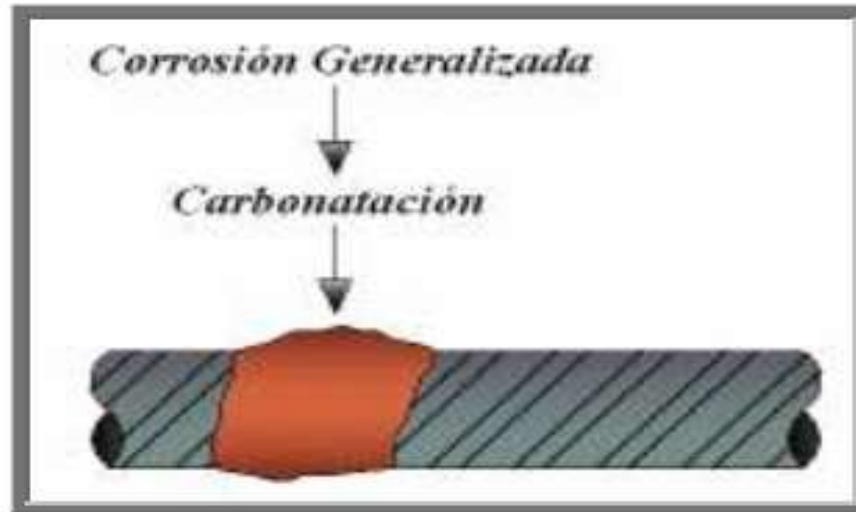
Fuente: Neufert, E 1978

Corrosión iniciada por carbonatación.

La carbonatación es el resultado de la reacción química que ocurre entre el dióxido de carbono presente en la atmósfera y ciertos productos de hidratación del cemento disueltos en la solución de los poros del hormigón. Como resultado, el pH del hormigón carbonatado se reduce a valores menores que 9.

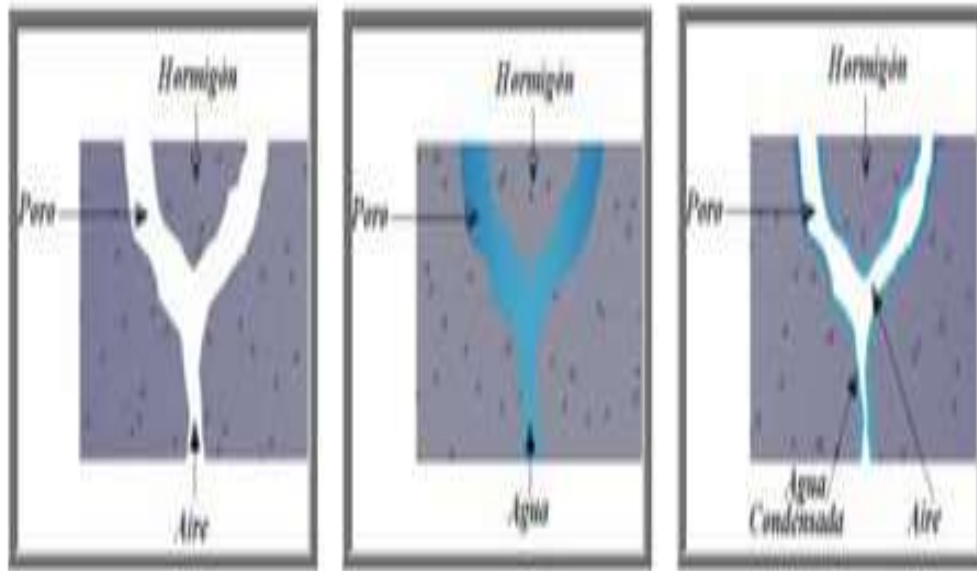
Inicialmente el  $\text{CO}_2$  no es capaz de penetrar profundamente dentro del concreto, (G.K. Glass, R. Yang, T. Dickhaus, N.R. Buenfeld. 1998) debido a que reacciona con el pH del concreto superficial. Aunque la porción de mezcla externa del concreto se carbonata rápidamente, el  $\text{CO}_2$  continúa su ingreso a mayor profundidad y cuando el pH alrededor

del acero de refuerzo es cercano a 9, la capa de óxido protector pierde su estabilidad, dando paso a la corrosión del acero. A la profundidad que el CO<sub>2</sub> ha penetrado y por lo tanto que ha modificado el pH, generalmente se le llama frente de carbonatación. La carbonatación induce una corrosión generalizada como se puede apreciar en la figura 1.3:



**Figura 1.3: Ataque generalizado en la armadura debido a la corrosión por carbonatación.**  
**Fuente: M.J. Sánchez de Rojas 2004**

- Penetración de CO<sub>2</sub> al hormigón dependiendo del estado de los poros: Si el poro está seco, como se muestra en la Figura 1.4a, el CO<sub>2</sub> se difunde fácilmente, pero la carbonatación no puede ocurrir debido a la falta de agua. Este caso sólo se presenta en concreto que está sobre secado, como ocurre en climas muy secos.
- Si los poros están llenos de agua, Figura 1.4b, hay apenas alguna carbonatación debido a la poca difusión del CO<sub>2</sub> en agua, que es el caso de estructuras sumergidas.
- Si los poros están parcialmente llenos de agua, Figura 1.4c, la carbonatación puede proceder hasta un espesor donde los poros del concreto están secos.



a) Poros seco

b) Poros Saturado

c) Poros parcialmente lleno de agua

**Figura 1.4: Penetración del CO<sub>2</sub> al hormigón dependiendo del estado de los poros.**  
**Fuente: J.M. Miranda 2006**

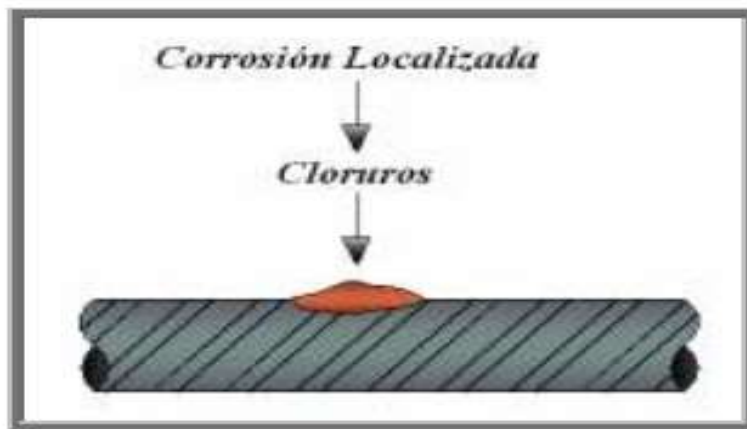
#### Corrosión iniciada por iones cloruro

Los iones cloruro llegan al hormigón porque se añaden con sus componentes (aditivos, agua u otro) durante el amasado, o porque penetran desde el exterior a través de la red de poros, principalmente en ambientes marinos. El ión cloruro Cl<sup>-</sup> penetran en el hormigón a través de la red de poros y se disuelven en el agua que contienen los poros, avanzando hacia el interior por difusión u otros mecanismos. Sin embargo, los iones cloruro disueltos en los poros pueden interactuar con las fases sólidas del hormigón quedando inmobilizados, por tanto, el cloruro dentro del hormigón puede encontrarse en varios estados:

- Cloruro libre: Es el que permanece disuelto en el agua que contiene los poros. Se desplaza por el interior del hormigón mediante difusión u otros mecanismos.

- Cloruro ligado: Es el que permanece unido a las fases sólidas del hormigón. Este cloruro queda inmovilizado, sin posibilidad de moverse hacia el interior del hormigón.

Cloruro total: es la cantidad total de cloruro que contiene el hormigón, sin hacer distinción entre cloruro libre y ligado. La concentración de cloruro total en el hormigón es igual a la suma de concentraciones de cloruro libre y ligado. El cloruro libre es el más peligroso, ya que, al quedar disuelto en el agua de los poros, es capaz de despasivar la armadura e iniciar su corrosión, localizándose en determinados puntos del acero, generando un ataque localizado o por picaduras, como muestra la figura 1.5: ( A.J. Al-Tayyib, M.S. Khan, I.M. Allam, A.I. Al-Mana 2000).



**Figura 1.5: Ataque localizado en la armadura debido a la corrosión por cloruros.**  
**Fuente: A. Cobo 2007**

Combinación de carbonatación e iones cloruro.

La penetración de cloruros es un proceso que tiene lugar en los poros rellenos total o parcialmente de agua. Esta es la principal razón por la cual es un proceso mucho más lento que la carbonatación, donde la molécula de dióxido de carbono difunde en el aire que rellena los poros. Si además de la contaminación por cloruros, existe un proceso de decarbonatación, la velocidad de corrosión aumenta y disminuye el valor crítico de cloruros requeridos para considerar riesgo de corrosión. Después de la carbonatación se produce la descomposición de los compuestos hidratados como la sal de Friedel y el

gel CSH (que sólo son estables a valores altos de pH), liberándose así, parte de los iones fijados química y físicamente, aumentando la cantidad de cloruros libres en la solución de los poros incrementándose, por tanto, el riesgo de corrosión.

Las fases carbonatadas del hormigón no fijan los cloruros, mostrando coeficientes de difusión mayores. Así, los iones se mueven más fácilmente a través de la zona carbonatada acumulándose en la interface hormigón carbonatado/no carbonatado. La Instrucción EHE, destaca en los comentarios del artículo 30.1, que en el caso de humedades relativas intermedias y, sobre todo, con regímenes higrotérmicos no estacionarios, puede ser conveniente reducir los límites de contenido de ión cloruro cuando el hormigón está carbonatado.

En la Tabla 1.1, se muestra el riesgo de corrosión en distintas condiciones del hormigón con diferentes concentraciones de cloruros.

Cloruros totales	Condiciones del hormigón	Riesgo de corrosión
< 0,4 %	Carbonatado (C) No carbonatado con cemento conteniendo < 8 % C <sub>3</sub> A (NC) No carbonatado con cemento conteniendo > 8% C <sub>3</sub> A (NC C)	Alto Modera doBajo
0,4%-1%	C NC NCC	Alto Alto Moderado
> 1%	Todos los casos	Alto



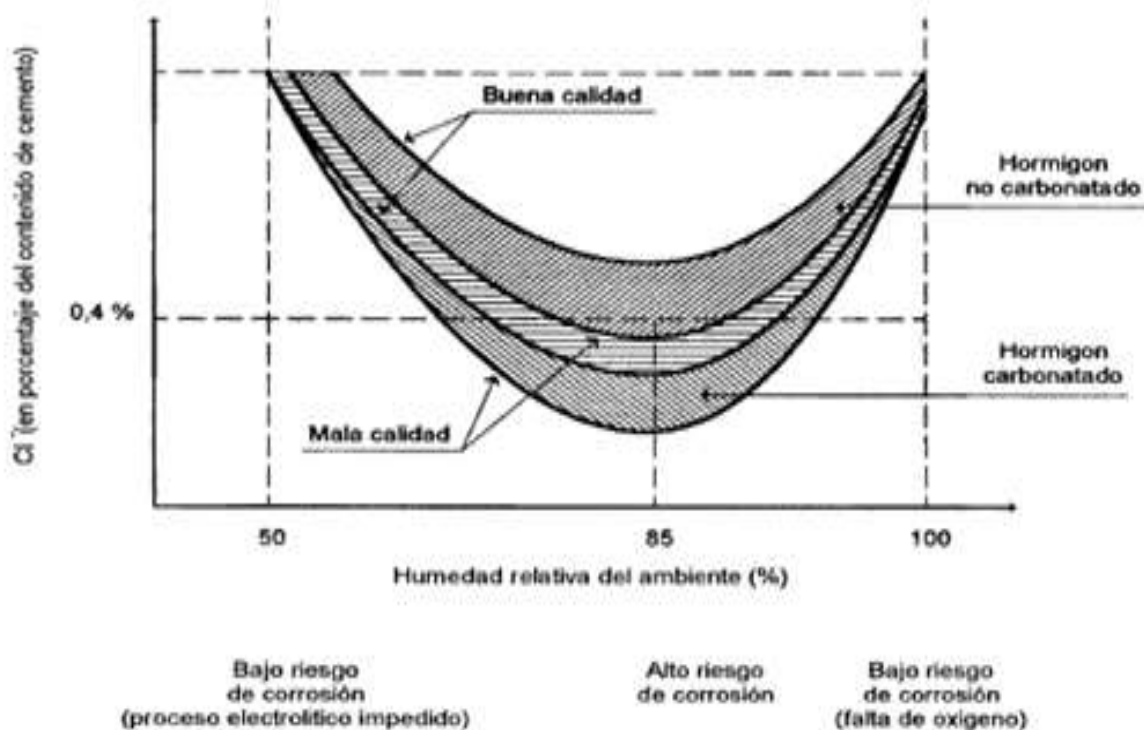
### **Tabla 1.1 Riesgo de corrosión en hormigón conteniendo cloruros.**

**Fuente: S.D. Cramer 2002**

M. Moreno y colaboradores (M. Moreno, W. Morris, M.G. Álvarez, G. S. Duffó 2004)., estudiaron el comportamiento del acero en disoluciones alcalinas simulando el hormigón con diferentes grados de carbonatación en presencia de cloruros. Los resultados obtenidos muestran que bajo unas condiciones de débil carbonatación el acero no se pasiva, mientras que con niveles altos de carbonatos y bicarbonatos, la resistencia a la corrosión localizada, mejora. Desde el punto de vista del mecanismo, el proceso de picadura en soluciones alcalinas muy concentradas es diferente al de las menos concentradas. En las primeras, la picadura se origina por una rotura localizada de la capa pasiva, mientras que en las disoluciones con menos concentración de carbonatos y bicarbonatos, la picadura se inicia sobre el metal que está sufriendo corrosión generalizada.

Las emisiones a la atmósfera de agentes contaminantes como dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, originan compuestos ácidos que son considerablemente más corrosivos que el ácido carbónico resultante del dióxido de carbono. Estos ácidos pueden causar acidificación más severa de la pasta de cemento que la producida por la carbonatación. La coexistencia de estos depósitos ácidos con iones cloruro sobre la superficie del hormigón tiene como consecuencia un ambiente más corrosivo que cualquiera de las dos sustancias por separado. Este efecto conjunto de los cloruros y ácidos es atribuido a los iones hidrógenos generados, que actuarán como cátodo de la corrosión metálica (Grupo español del hormigón (GEHO 1993)

Una estimación del contenido crítico de cloruros en función de la calidad del hormigón, de suposible carbonatación y de las condiciones medio ambientales se muestra en la Figura 1.6.



**Figura 1.6: Esquema del contenido crítico de cloruros en función de la humedad ambiental, la calidad del hormigón y su posible carbonatación.**

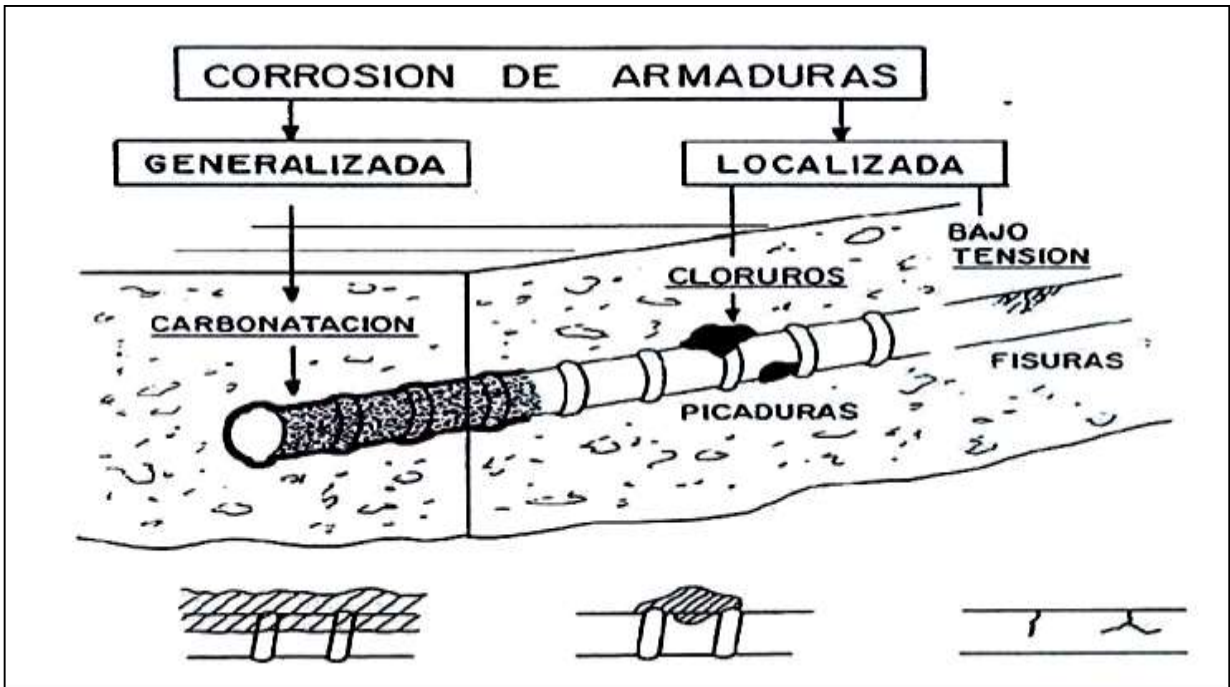
**Fuente: A. A. Nepomuceno 2006**

Si el hormigón no está carbonatado, un valor de 0,4% de ión cloruro, en relación al peso de cemento, equivalente en 0,05% en peso de hormigón, suele representar el valor límite aceptado para evitar el riesgo de corrosión, aun cuando, como se aprecia en la figura 1.6, su valor crítico depende de la humedad relativa, debido a fenómenos de transporte a través de la red de poros.

El ión fluoruro, aunque de forma mucho menos frecuente que el cloruro, también puede provocar la corrosión del acero de armar siguiendo un mecanismo parecido y provocando ataque localizado en forma de picaduras. En este caso, a diferencia del ataque por cloruros, se ha observado un ataque preferencial sobre el anillo formado por martensita resultante del templado, que el ataque sobre el acero formado por perlita y ferrita (D.D.N. Singh, R. Ghosh, B.K. Singh 2002).

## Tipos de corrosión de armaduras

La corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón construidas en ambiente marino es un fenómeno esencialmente electroquímico que en dependencia del tipo de proceso puede ser generalizada o localizada (Ver



**Figura 1.7: Tipos de corrosión de armaduras**

**Fuente: Andrade et al., 1998.**

### Corrosión generalizada

Es la forma más común de corrosión, caracterizada por la pérdida de peso y disminución uniforme del espesor del metal como consecuencia de la falta de protección ante la acción de los agentes atmosféricos. Los propios productos de corrosión que se generen (óxidos, hidróxidos, etc.) entorpecen el progreso de la corrosión y esto hace que la velocidad de corrosión disminuya con el tiempo.

Este tipo de corrosión es propia de situaciones en que hay pérdida de pasividad por la carbonatación del hormigón de recubrimiento, y la corrosión progresa sobre la superficie de la armadura de manera más o menos uniforme. (Bermúdez Odriozola, M. A. 2007)

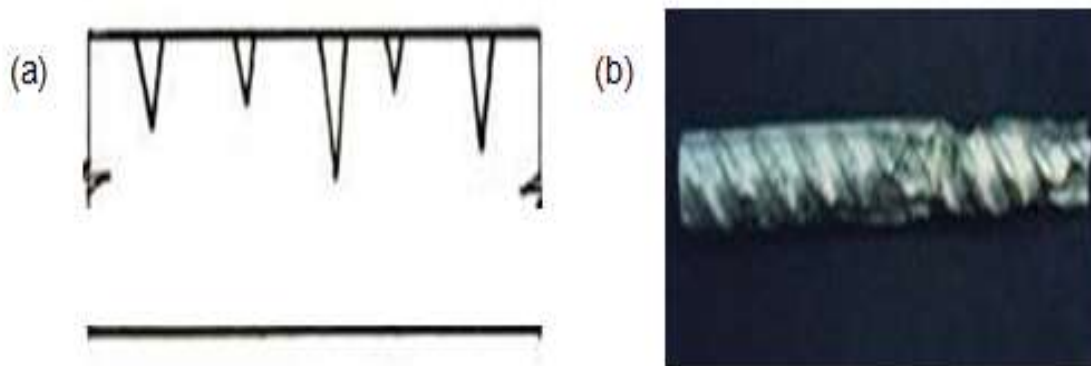
### Corrosión localizada

Tiene lugar en zonas determinadas del metal donde se acentúa la corrosión, progresa de modo irregular y tiene una distribución desigual. Este es un tipo de corrosión más activa donde el metal queda picado, terminando en general con grandes rugosidades en su superficie.

En la práctica la totalidad de los casos responden a la existencia de iones cloruro en el hormigón de recubrimiento en cantidad suficiente. Autores como (García Olmos and Pérez Navarro, 2005) aseguran que una concentración de 500 partes por millón implica un riesgo de activación de corrosión por picaduras.

Según la forma en que se manifiesta y sus causas, tenemos los siguientes tipos:

Corrosión por picaduras: las picaduras se forman por la disolución localizada de la película pasiva que típicamente resultan del ingreso de iones cloruro al medio, bien sea porque provienen del medio exterior o porque fueron incorporados en la masa de hormigón (Rincón et al., 1997) (Figura 1.8).



**Figura 1.8: Corrosión por picaduras, (a) esquema (Vallejo Figueroa, 2006), (b) presencia de picaduras en el acero de refuerzo**

**Fuente: García Olmos y Pérez Navarro, 2005.**

El ataque por cloruros comienza con la picadura en los puntos débiles de la interface acero- hormigón. Un punto débil se puede generar debido a una caída local del pH, a un

hueco de aire por mala compactación, a una fisura del hormigón o a un defecto de la superficie del acero (Bermúdez Odriozola, 2007).

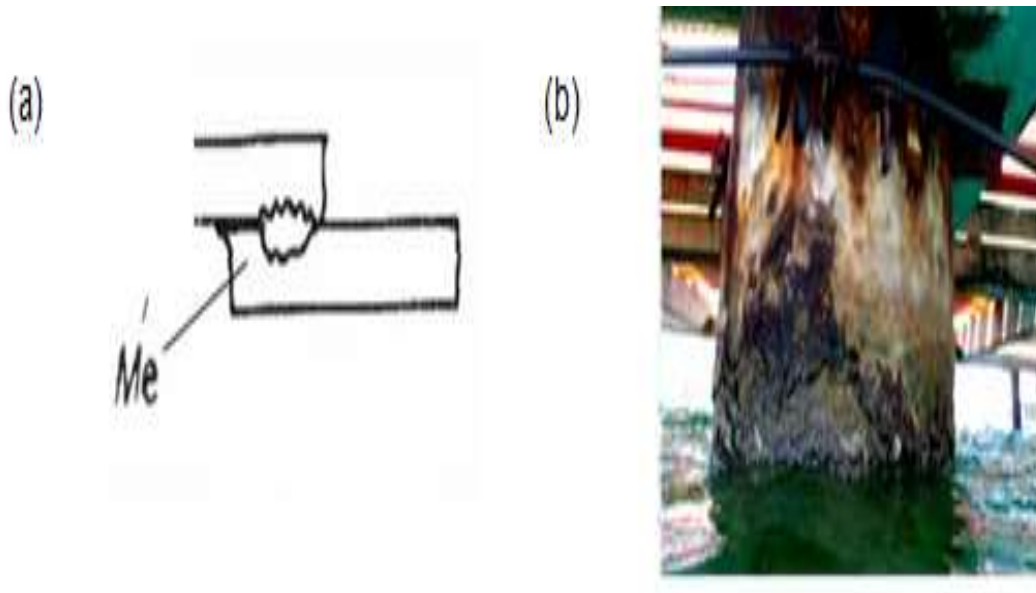
Durante la corrosión por picado, los iones cloruros tienden a acumularse en las “picaduras”, el pH de la solución disminuye y por lo tanto se genera un ambiente altamente agresivo. Este es uno de los ataques más severos al acero de refuerzo, donde se pierde masa localizada y resistencia (Aguirre and Mejía de Gutiérrez, 2013).

#### Corrosión por cavidades

Es un tipo de ataque localizado intenso que frecuentemente ocurre en zonas ocultas del metal expuesto a ambientes corrosivos en los que el acceso del fluido de trabajo desde el entorno es limitado. Estos espacios que generalmente son llamados intersticios, pueden presentarse entre dos superficies acopladas de piezas metálicas del mismo o diferente tipo, o bien entre piezas metálicas y depósitos de cuerpos extraños, incluso no metálicos (microorganismos u otros depósitos de materiales).

Un ejemplo de ello se observa en la corrosión del acero de refuerzo con revestimientos, cuando la adhesión entre este y el acero se ha deteriorado. Adicionalmente, si hay iones cloruro en el hormigón, éstos pueden acumularse en el intersticio resultante entre el recubrimiento y el acero. El pH dentro de ese espacio confinado disminuye y el proceso de corrosión se sigue agravando hasta originar una mayor pérdida de adherencia. El deterioro de la adherencia entre el acero y el recubrimiento se puede producir por daño mecánico (durante el doblado de las varillas) o por procesos electroquímicos que pudieran darse en el hormigón aun antes que los iones cloruro lo penetren (Rincón et al., 1997).

Este fenómeno corrosivo también tiene lugar bajo la flora marina existente en estructuras de hormigón (Figura 1.9).



**Figura 1.9: Corrosión intersticial, (a) esquema, (b) estructura de concreto con presencia de microorganismos.**

**Fuente: K. Wang 2006.**

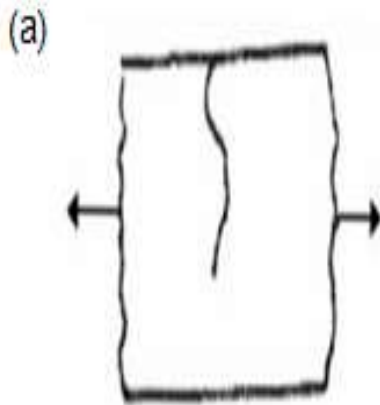
Corrosión de fractura bajo tensión

Ocurre cuando además de un medio ambiente agresivo, existe una tensión mecánica elevada en un metal con poca resistencia a la corrosión bajo tensiones. El medio ambiente corrosivo es aquel que tiene presencia de cloruros, sosa cáustica y sulfuros, mientras que las tensiones son producto de cargas aplicadas, presión interna en el sistema, o esfuerzos residuales provenientes de soldaduras anteriores.

Según (Rincón et al., 1997), la corrosión bajo tensión es un fenómeno generalmente asociado a una mala calidad del hormigón, o a la presencia de determinados iones, generalmente aportados por algunos aditivos, o al uso de un determinado tipo de acero

(templado y revenido).

En la Figura 1.10, se observa cómo este tipo de ataque da lugar a la formación de grietas originadas generalmente perpendiculares al esfuerzo aplicado, y que posteriormente conducirán a la desintegración de la estructura.



(b)



**Figura 1.10: Corrosión de fractura bajo tensión, (a) esquema, (b) estructura de concreto con corrosión bajo tensión.**

**Fuente: M. Fernández 2006.**

#### Corrosión galvánica

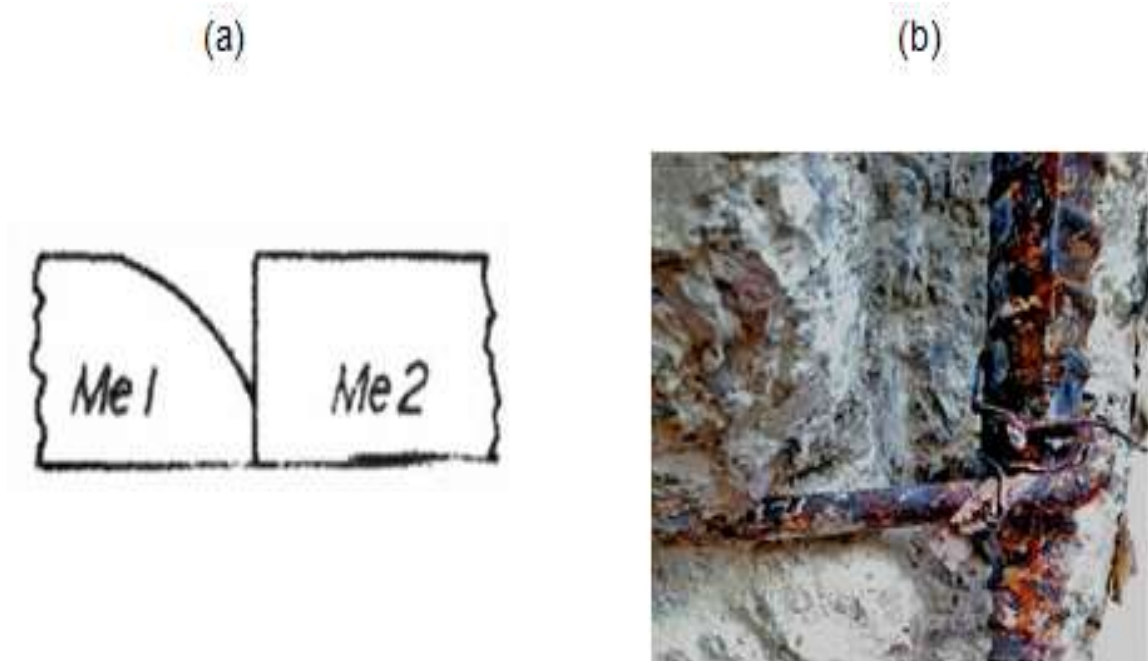
Esta corrosión puede ocurrir cuando dos metales con potenciales galvánicos muy diferentes están en contacto directo. (Fernández, 2009) asegura que en todo par galvánico el metal de mayor potencial negativo es anódico con respecto al de menor potencial, que actúa de cátodo. Siempre es el metal más anódico el que se corroe.

En el caso del acero en el concreto este tipo de corrosión generalmente se observa cuando existen pequeñas discontinuidades (deformaciones plásticas, fisuras, soldaduras, presencia de óxidos, etc.) que no permiten la formación de la capa pasiva. Esta zona actuará como ánodo frente al resto del material que permanece pasivado y actúa como cátodo. Otro ejemplo típico se observa en la Figura 1.11 (b) donde las

23

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.

armaduras exteriores se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las armaduras interiores permanecen pasivas.



**Figura 1.11: Corrosión galvánica, (a) esquema, (b) corrosión de las armaduras exteriores del concreto.**

**Fuente: J. Rodríguez 2000**

Otros factores que influyen en la corrosión de las armaduras

La humedad del hormigón juega un papel importante en la corrosión de las armaduras ya que favorece la penetración y disolución de los agentes agresivos y proporciona el vehículo para que la corrosión avance. Por otro lado, el recubrimiento del hormigón sobre la armadura provee una barrera física contra la penetración de agentes agresivos desde el medio ambiente exterior. Su eficiencia depende fundamentalmente de dos factores:

- El espesor del recubrimiento

La protección que confiere el hormigón que recubre las barras de acero de una estructura de hormigón armado, dependerá del grado de impermeabilidad de este, que a su vez estará dada por su compacidad y homogeneidad en esa zona. En muchos casos esta masa de hormigón no cumple con sus funciones específicas porque suele ser



menos compacta y más porosa que el resto del volumen que constituye el elemento. Este fenómeno puede producirse por varias causas, siendo la más importante una mala compactación del hormigón. El espesor de esta capa de hormigón es importante para garantizar la protección de la armadura, dependiendo del ambiente al cual va a estar expuesto. El código de diseño ACI 318- 2005, en su sección 7.7 recomienda los siguientes recubrimientos mínimos:

CONDICIÓN	RECUBRIMIENTO MÍNIMO (mm)
Hormigón colocado contra el suelo y permanentemente expuesto a él	75
Hormigón expuesto al suelo o al aire libre Barras $\Phi 18$ a $\Phi 56$ Barras $\Phi 16$ y menores	50 40
Hormigón No expuesto al suelo ni al aire libre <i>Losas, muros y viguetas:</i> Barras $\Phi 44$ a $\Phi 56$ Barras $\Phi 36$ y menores	40 20
Hormigón No expuesto al suelo ni al aire libre <i>Vigas y columnas:</i> Armadura principal, amarras, estribos y zunchos.	40
Hormigón No expuesto al suelo ni al aire libre <i>Cáscaras y placas plegadas:</i> Barras $\Phi 18$ y mayores Barras $\Phi 16$ y menores	20 15

**Tabla 1.2: Recubrimiento mínimo de hormigón sobre armaduras.**

**Fuente: ACI 318- 2005, en su sección 7.7**

- El diseño de mezcla

El hormigón debe ser sólido, homogéneo, compacto, resistente y poco poroso. Bajas relaciones agua/cemento y altos contenidos de cemento garantizan un hormigón de buena calidad.

La relación agua/cemento está directamente relacionada con la permeabilidad del hormigón, una mayor relación agua/cemento genera un hormigón más permeable y, por lo tanto, posibilita la corrosión. La Norma Chilena NCh 170 of.1985, recomienda para casos de exposición severa lo estipulado en la Tabla 1.3.

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda o expuesta a hielo-deshielo	Estructuras expuestas a aguas agresivas, en contacto con el suelo o ambientes salinos
Secciones delgadas ( $e \leq 20$ cm.) y secciones con recubrimiento menor que 2 cm.	0.45	0.40
Toda otra estructura	0.50	0.45

**Tabla 1.3: Máxima relación agua/cemento de exposición severa.**

**Fuente: Norma Chilena NCh 170 of.1985.**

El aumento de dosificación dificulta el proceso de corrosión, la Norma Chilena NCh 170 of.1985, recomienda para estructuras de hormigón armado protegidas de la intemperie, una dosis mínima de cemento de 240 kg/m<sup>3</sup>, y para estructuras expuestas a la intemperie, una dosis mínima de 270 kg/m<sup>3</sup>. Estas cantidades mínimas de cemento crean el ambiente alcalino adecuado, que permite la protección pasiva de la armadura de acero y proporciona una densidad de la matriz del hormigón endurecido que asegure un grado mínimo de impermeabilidad.

### **1.2.1 Limitaciones en la durabilidad de los periodos de mantenimientos correctivos en las estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.**

Calidad de proyecto

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.

Las soluciones adoptadas en la etapa de proyecto tienen amplia repercusión en todo el proceso de construcción y en la calidad del producto final que se le entregue al cliente. En el planteamiento del proyecto se produce la concepción y el desarrollo de la futura edificación, acorde con la identificación de las necesidades y expectativas del cliente en términos de desempeño. Una compatibilización del proyecto arquitectónico e informaciones preliminares, con la finalidad de definir el proceso de confección del proyecto ejecutivo, son elementos imprescindibles para la calidad general de esta fase de la obra.

En la fase de proyecto cobran mayor importancia los factores técnicos que influyen en la calidad, debido a lo cual, el predominio de las acciones a ejecutar en dicha etapa se encamina hacia el aseguramiento y control de la calidad, logrando en consecuente aplicación del conjunto de normas y procedimientos establecidos; así como las tareas de supervisión y organización del cumplimiento por cada parte del proceso de proyecto, de sus responsabilidades con su ejecución, coordinación y control.

“Por lo general los proyectos son desarrollados paralelamente por los diversos proyectistas (arquitectura, estructuras e instalaciones), siendo reunidos en la etapa del proyecto ejecutivo. Este proceso puede ser fuente de diversas incompatibilidades que comprometen la calidad de la edificación, requiriéndose una atenta y cuidadosa revisión y control de su integración.

La mejor forma de prevenir deterioros prematuros en los edificios pasa por el diseño. La confección de un buen proyecto, desde el punto de vista del aseguramiento de una adecuada durabilidad de la construcción, y por tanto de la calidad esperada por el cliente, no sólo será el resultado del cumplimiento de las normas y especificaciones; sino, de la inclusión dentro de la etapa de concepción del inmueble, de nuevos conceptos que enfatizan su papel en la prevención de futuros daños e insuficiencias, como son los de: Revisibilidad; Mantenimiento y Reposición, que no es otra cosa que la Inspección y el Mantenimiento.

Calidad de los materiales.

El control de la calidad de los materiales a utilizar en la obra constructiva, que cumplan con las especificaciones del Proyecto se realiza esencialmente en la gestión de aseguramiento y adquisición de los mismos; recayendo el grueso de las acciones a ejecutar en la garantía del cumplimiento de las especificaciones establecidas para dichos materiales, productos y demás elementos componentes de la edificación.

En tal sentido juega un papel esencial el aval o acreditación de los fabricantes y suministradores de tales materiales, sobre la base del cumplimiento de los requisitos de calidad, propios de los mismos y del desempeño integral del resto de sus funciones de oferta y aprovisionamiento.

Serán esenciales las inspecciones y ensayos de recepción de los materiales que deben ser controlados acorde con los criterios especificados o preestablecidos. Los sistemas de calidad que se establezcan en las empresas y organizaciones encargadas de la ejecución de la obra, deberán prever sus propias acciones de revisión y control del cumplimiento de tales exigencias, en la recepción y admisión de los materiales para la ejecución de las obras.

Calidad de ejecución.

El planteamiento tradicional del proceso de ejecución de las obras de construcción centraba su atención en dos parámetros fundamentales: el costo y el plazo, constituyendo su optimización el objetivo de la buena práctica constructiva, en los últimos tiempos se ha impuesto un tercer parámetro: la calidad.

Estos tres aspectos están íntimamente relacionados y no pueden ser tratados por separado. En la etapa de ejecución de la construcción cobra una gran validez el siguiente acierto “de que un buen índice de calidad es, no gastar tiempo y dinero en reparar cosas, lo que no ocurriría si se hubiesen hecho bien las cosas desde un comienzo. Si bien en la fase de proyecto los factores técnicos tenían un mayor peso en el logro de la calidad, en la ejecución se manifiestan determinadamente los factores humanos.

Los errores técnicos pueden combatirse por medidas adecuadas de control de la

calidad, los humanos requieren la adopción de medidas adecuadas de garantía de calidad, entendiendo como tal, el conjunto de acciones sistemáticas planeadas de antemano, cuya puesta en práctica eleva la confiabilidad del producto y la satisfacción del cliente. En esta etapa, el control por parte de los proyectistas (Control de Autor), es fundamental.

No es reiterativo insistir en que el cumplimiento de la calidad de los materiales es fundamental en todas las construcciones, pero se hace totalmente imprescindible cuando se trate de edificaciones que requieren para sus actividades una alta fiabilidad como los laboratorios biológicos, químicos etc.

Calidad del uso.

El lograr una conciencia de uso racional, así como el respeto por la función inicial para la que fue creada la edificación, en conjunto con la aplicación consecuente de mantenimientos durante su período de servicio, garantiza alargar su explotación en condiciones aceptables y prolongar su vida útil.

De aquí que la relación ya fundamentada de calidad y durabilidad, para el caso de la etapa de uso de la edificación, deviene en el siguiente planteamiento: calidad de uso es mantenimiento. Lamentablemente, la problemática actual, no sólo en Cuba, sino en otros países, es la de una falta de conciencia acerca de la importancia y necesidad del mantenimiento preventivo y planificado, para el logro de una mayor durabilidad; el interés predominante es, no esperar el deterioro sino prevenirlo (Metha, P. K. & Monteiro, P. J. M. 1986).

**1.3 Evaluación** y diagnóstico de los procedimientos para la realización de mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión. Experiencias internacionales y nacionales.

Experiencias importantes han sido muchas principalmente la Restauración y Rehabilitación del "Teatro Municipal de Asunción". (Paraguay). Las Villas Su construcción data del Año 1855, y su diseño es el resultado de las ideas Europeas del renacimiento tardío, importadas en siglos pasados con las inmigraciones: la conformación de la sala, en forma de herradura con anillos de palcos y galerías superpuestas, lo convierten en el único teatro del país con esas características, y por lo

mismo de vital importancia para la comunidad cultural del Paraguay. La importancia histórica que posee el edificio del teatro municipal va más allá de su materialización o de su expresión estilística, es un patrimonio histórico del Paraguay y como tal debe ser entendido.

Las patologías generales más importantes son: la presencia de humedad y la acción de las termitas originadas en una importante falta de mantenimiento, canaletas embutidas totalmente perforadas, cielorrasos que ocultaban la acción avanzada de las termitas sobre las carpinterías de madera de pino (cabriadas, tirantes, entrepisos, marcos y hojas de aberturas), que acentuadas por la acción de la humedad de los muros de apoyo por las canaletas de borde y bajadas llevaron al cierre del teatro por el peligro de derrumbe y al total apuntalamiento de la cubierta y entrepiso. Una buena fundición de piedra bruta hace que los muros y revoques no presenten fisuras y grietas importantes debidas a ese origen. Están afectados por la humedad y las vibraciones. Se observan desprendimientos importantes en revoques, cornisas y molduras de las fachadas exteriores, acentuadas por la mezcla pobre y los agentes climáticos y atmosféricos.

Otra muy importante ha sido la escuela taller de Asunción inicia la intervención en el bloque lateral izquierdo "Bloque Café", ubicado en la esquina de las calles Alberdi y Presidente Franco, en marzo/2000. Desde los primeros acuerdos para el inicio de las obras, la escuela taller ha exigido la presentación de un "Proyecto de Restauración" anexo al proyecto de ejecución presentado, ante la inexistencia del mismo y como las ordenanzas municipales no lo exigen expresamente, se acordó acompañar en obras las restauraciones con el apoyo de la Oficina del Centro Histórico en el caso de que sea necesario: Ej. En el caso de las cabriadas de madera de los bloques del frente, el proyecto contemplaba el cambio de las mismas a estructura metálica; luego de largas discusiones los proyectistas aceptaron mantener la estructura de madera restaurada, es decir cambiando las piezas dañadas por las termitas y/o la humedad. Sin embargo, el daño de las piezas de madera era tan pronunciado que tuvieron que ser reemplazadas en su totalidad. ( Echazabal Pérez, L. 2005)

Por otra parte en la comunidad de Madrid se establece como prioridad la rehabilitación completa de áreas, manzanas y edificios donde se asientan capas desfavorecidas de la ciudad desde ángulos sociales, económicos y educativos. Con la rehabilitación se consigue devolver a los ciudadanos condiciones de vida adecuadas y prosperidad. Aproximadamente el 80% de los edificios de la comunidad de Madrid está destinado a uso residencial. Gran parte de estas viviendas cuenta con más de cincuenta años de antigüedad y presentan muchas patologías y carencias desde el punto de vista de seguridad y confort, por este motivo, es necesario solucionar estas deficiencias a través de la rehabilitación. Está basado en muros de carga de ladrillos, unidos por mortero de cal o de cemento. Los entrepisos están compuestos por viguería metálica, acompañada de entrevigado de tableros de madera, rasilla y bloques huecos de cerámica. La cubierta es inclinada, formadas por vigas y entablado de madera.

La fachada es sólida, con espesores generosos de los muros. Se proyectaban así por encontrarse a la intemperie y por su mayor número de huecos. Los muros interiores, generalmente de entramado de madera y rellenos diversos, al estar sometidos a mayores cargas y tensiones que las fachadas, suelen tener descensos acusados (declinaciones o desaplomes) que motivan la inclinación del entrepiso de la primera crujía. Los muros de patios son los más débiles por su menor espesor, profusión de huecos y estar expuestos a los perjuicios de las humedades de los bajantes de aguas pluviales, siendo, por lo general, la parte más deteriorada. Los pies derechos de madera suelen estar degradados en las bases de apoyo de la cimentación y en los lugares húmedos, con pérdida de su sección.

Los apoyos de la viguería de madera llegan a desaparecer en las áreas de servicios por las humedades, siendo un mal generalizado. La viguería en las dependencias nobles suele estar sana aunque acusa, bajo el pavimento, la concavidad producida por la sobrecarga. La viga metálica se oxida en las dependencias de aseos y cocinas. La cubierta se deteriora en los puntos coincidentes con el contorno o junto a las limas, lugares propensos a las humedades. Elementos ornamentales, como son las cornisas o

salientes, estaban en situación de equilibrio inestable con el consiguiente peligro de desprendimientos. Este edificio sufrió una convulsión perjudicial cuando fue dotado de las instalaciones que surgieron posteriormente, como la calefacción, depósitos de agua y gas.

De manera general, el proyecto de las estructuras de estos edificios antiguos no era precedido de los cálculos de esfuerzos y tensiones de los materiales. Se hacían por comparación con otras edificaciones y de modo rutinario, lo cual era lógico por los pocos elementos que entraban en estas construcciones clásicas.

Los muros estaban ensayados en la práctica. Las viguetas de madera se suministraban desde las aserrerías, de acuerdo con una tabulación que contemplaba la luz y su separación; los cargaderos eran lo más delicado de proyectar y lo que más se discutía; la cimentación se realizaba continua y de un ancho ligeramente superior a la base de los muros de carga. Se tenía poco conocimiento de las condiciones del terreno para cimentar y la labor práctica de asesoramiento la asumían, comúnmente, los poceros.

Causas de los deterioros: el cambio de las cargas, como puede ser el del pavimento, influye en la vigería. Los cambios de tabiquerías producen alteraciones en las plantas superiores, su presión puede ser peligrosa al disminuir la trabazón del conjunto. La reforma o adaptación de los bajos para locales comerciales puede ser causa grave de un inicio de ruina del edificio, a no ser que se adopten medidas de precaución en la acomodación del edificio en esta clase de reformas y sean proyectadas y realizadas por personal con experiencia.

Reparación de muros Interiores: el descenso de muros no fue de alarmar, pues se conservan en buen estado los pies derechos y no existen abombamientos superficiales. Para las oquedades y pérdidas de sección de la madera, la mejor solución fue sanear y rellenar con hormigón de baja dosificación, o bien con ladrillo y mortero. El material de relleno entre el entramado de madera suele tener poca cohesión, razón por la que existe en ambos paramentos un amplio espesor de guarnecido, al hacerse un saneado fue



conveniente sustituirlo por otro guarnecido con malla de alambre intercalada.

Las obras patrimoniales representan un reto particular para la ingeniería de estos tiempos. Mientras que para las edificaciones modernas, el proceso de evaluación y posterior reforzamiento estructural cuenta con procedimientos tecnológicos comprobados analítica y experimentalmente, aunque no en todos los casos, en las edificaciones históricas buena parte de esos procesos se encuentran todavía en una fase de exploración y empirismo, aplicando en muchos casos la experiencia del constructor. (Desconocido. 2005)

Se define el siguiente procedimiento para realizar el diagnóstico de los elementos estructurales. (Autores, C. 1985)

- Inspección inicial de la edificación.
- Diagnóstico de los elementos estructurales en cada nivel, a través de la inspección visual.
- Elaboración de la información mediante fichas técnicas (Tejera, 2000).
- Evaluación del estado técnico del inmueble.
- Mediante la observación visual y un levantamiento fotográfico se realiza la inspección inicial.

## Conclusiones parciales

1. El deterioro por corrosión de las estructuras de concreto armado es de gran magnitud debido a su impacto económico, por lo cual es importante conocer las causas de su origen y desarrollo para controlarlo a fin de prolongar la vida útil de las obras civiles.
2. Las técnicas electroquímicas aportan información valiosa para estimar el grado de avance de la corrosión en la varilla embebida en concreto, con lo que es posible realizar diagnósticos confiables que permitan tomar medidas adecuadas para la protección y mantenimiento pertinentes de estructuras de concreto armado.

3. La influencia del medio ambiente en el deterioro del concreto es fundamental, siendo característica para medios marino, urbano y rural. Es por esta razón que el concreto debe ser diseñado con los requerimientos específicos de servicio para cada estructura de acuerdo al sitio en que sea construida.
4. Es conveniente introducir como rutina de inspección el seguimiento del proceso de corrosión de las varillas embebidas en concreto por técnicas electroquímicas en obras civiles y promover su normatividad.

## **CAPITULO II: PROCEDIMIENTO PARA MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO AFECTADAS POR LA CORROSION.**

Si se parte de lo analizado en el capítulo anterior, se reconoce la necesidad de desarrollar los mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión mediante un procedimiento que tenga en cuenta para los mantenimientos correctivos los procesos de corrosión de las estructuras de hormigón armado. Para ello los objetivos del capítulo son:

- Asumir posiciones teórico - metodológicas para el diseño del procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.
- Diseñar el procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.

### **2.1 Concepciones metodológicas para el diseño del procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.**

La realización del procedimiento permite identificar las patologías que se manifiestan en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión y como a través de un mantenimiento correctivo adecuado se pueden alargar los periodos de intervención, así como, comprender y evaluar la importancia del impacto de los mismos en el progreso de la ciudad. Esto en el ámbito urbano, debido al dinamismo del entorno y los cambios socioeconómicos, exigen respuestas adecuadas a la nueva situación. Se ha convertido en una necesidad el empleo de los procedimientos desde enfoques multidisciplinarios e intersectoriales, por la complejidad e interacción de los problemas que azotan las ciudades modernas. Estos permiten que la formulación del procedimiento se apoye en la participación como una vía para transformar las realidades y el escenario donde ocurren los problemas.

En el proceso de participación que se llevó a cabo se integraron diferentes actores, pues hubo intenciones comunes, tales como: identificar la problemática y prioridades; proponer alternativas de solución; negociar el proceso de familiarización de acciones y

fomentar el proceso de evolución y control a partir de los grupos de trabajo multidisciplinario y multisectorial. De igual forma, incorporar al procedimiento de mantenimiento correctivo una etapa de monitorear – controlar es una nueva concepción que da paso a un instrumento más flexible y pragmático que, sustentado en la voluntad y capacidad de acción de los distintos actores, busca lograr una mayor y mejor aproximación a los objetivos propuestos

Entre los principales aportes de este procedimiento se encuentra la identificación sistemática de afectaciones que pudieran surgir lo que favorece una mejor y eficaz toma de decisiones. Es un proceso flexible y sistemático que espera el surgimiento de cambios y la aparición de nuevas tendencias pues mantiene una estrecha relación con la realidad existente y con las capacidades reales de intervención, además de que implica un amplio sentido de participación desde la multidisciplinariedad y la intersectorialidad. Es un empeño por renovar los métodos empleados hasta estos momentos por lo que significa que se convierte en un proceso dinámico, cambiante, participativo, decisorio y flexible.

De forma general el procedimiento posee cualidades que hacen posible su aplicación porque:

- Está en correspondencia con la política que desarrolla el estado cubano en diferentes acápite de los Lineamientos de la política económica y social (2018)
- Es operativo y no una simple abstracción, se puede traducir en acciones y asignaciones específicas.
- Está fijado con el fin de precisar unidades de medidas para evaluar su ejecución y descubrir sus desviaciones.
- Es selectivo en lugar de ser general, cuyo propósito es el de hacer posible los recursos y los esfuerzos.
- Se ha elaborado con la participación de los que están encargados de implantarla.
- Da la posibilidad de ofrecer impactos positivos a corto plazo y difundir los resultados, con el fin de evitar el escepticismo y el consiguiente abandono.

Como todo proceso, debe reunir las concepciones necesarias que permitan la implementación y éxito del mismo. Algunos de estos elementos son, entre otros, un alto nivel de sensibilidad, compromiso y deseos de contribuir al desempeño por parte de los involucrados, desde el administrador hasta el resto de los trabajadores.

Se desarrolla a partir de una retroalimentación continua que permite una revisión y seguimiento de todo el proceso, abierto a una toma de decisiones flexibles que permiten, en su caso, rectificar o modificar objetivos y estructuras. Depende en gran medida de las dimensiones que caracterizan a la gestión para la preservación de edificaciones con valor patrimonial, así como de las cualidades resultantes de sus interrelaciones. Estas dimensiones son: ambiental, económica y social.

- Dimensión ambiental

Constituye uno de los ejes principales para el desarrollo porque propicia el proceder del hombre como el centro de atención en su actuar vinculado a la naturaleza (Castroviejo y Herrero, 1992). Implica “la existencia de espacios ambientalmente sostenibles, o sea, con estructuras ambientales óptimamente funcionales, una reproducción adecuada de los recursos y servicios ambientales y una degradación ambiental mínima [...]” (Rodríguez, 2015, p. 44). Ayuda al propio sostenimiento del sistema como un todo, conformado por el conjunto de actores que, relacionados entre sí, deben garantizar la gestión de los residuos sólidos agrícolas como materias primas para la mejora de la calidad ambiental del entorno de los mercados agropecuarios estatales.

- Dimensión económica

Está encaminada a la búsqueda de niveles de eficiencia económica y eficacia social adecuadas, que permitan el crecimiento económico [...] (Rodríguez, 2015, p. 44). Mediante esta dimensión se crean utilidades para la obtención de beneficios económicos que mejoren las condiciones de vida de los trabajadores. También cumplimentar actividades relacionadas con la gestión, el desarrollo de cursos para la concientización

del cuidado en el modo de actuar que permitan mejoras en la calidad ambiental del mercado agropecuario estatal y su entorno circundante.

- Dimensión social

Esta dimensión es transversal, pues es donde se expresan los elementos positivos o negativos de las demás. Contribuye al desarrollo humano, porque las relaciones entre los actores sociales dan como resultado el conocimiento de las posibles irregularidades en el funcionamiento mediante la participación ciudadana. “Se hace entonces imprescindible una capacidad de regulación institucional, sustentada en sistemas y procesos de gestión participativos, coherentemente regulados por las autoridades estatales” (Rodríguez, 2015, p. 44).

Se basa en el campo de la factibilidad social, económica y ambiental ya que estos tres factores dentro del estudio que se realiza son los más relevantes y consecuentes para la elaboración del procedimiento propuesto, lo que refleja de forma positiva una mejor proyección de los trabajos. A continuación, se explica la síntesis de cada uno de estos aspectos:

- Factibilidad social: Se basa en la evaluación social, que estima los efectos del proyecto sobre la población local para determinar los grados de rechazo o aceptación del mismo tiene como objetivo buscar la satisfacción de las necesidades humanas materiales.
- Factibilidad ambiental: Es la evaluación ambiental, consiste en analizar en qué medida el proyecto salvaguarda el equilibrio del entorno. También debe analizar con profundidad los posibles efectos del entorno sobre el proyecto que pueden afectar el diseño o su desarrollo. Tiene por objetivo la identificación de los impactos ambientales que un proyecto produce en caso de ser ejecutado, así como su prevención, corrección y valoración.
- Factibilidad económica: Los estudios de factibilidad económica incluyen análisis de costos y beneficios asociados con cada alternativa del proyecto. Se refiere a que se dispone del capital en efectivo o de los créditos de financiamiento

necesario para invertir en el desarrollo del proyecto, el cual debe ser aprobado a partir de que los beneficios a obtener sean superiores a los costos en que incurra al desarrollar e implementar el proyecto o sistema.

Además, se centra en crear una herramienta que permita generar históricos de mantenimiento mediante la identificación sistemática de afectaciones lo que favorece una mejor y eficaz toma de decisiones, por la complejidad e interacción de los problemas que azotan las ciudades modernas. Estos permiten que la formulación del procedimiento se apoye en la participación como una vía para transformar las realidades y el escenario donde ocurren los problemas. Con el fin de potenciar una adecuada gestión ambiental urbana con fuerte presencia de lo local.

## 2.2 Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.

La propuesta concibió y desarrolló un procedimiento general para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión como forma de llevar a la práctica esa articulación. Está compuesto por tres etapas en donde se contempla el desarrollo de acciones de la gestión ambiental urbana como: planificar - organizar, ejecutar - regular, monitorear - controlar como base de los trabajos a realizar. Nueve pasos además que ayudan y describen los procesos internos de cada etapa (figura 2.1). Dentro de esta se destaca la flexibilidad que le otorga el procedimiento en cuanto a la retroalimentación, ajuste y mejora del mismo. Puede convertirse además en una herramienta de intervención profesional a utilizar por los propios gestores de la preservación desde lo medio ambiental de edificaciones con valor patrimonial.



**Figura 2.1: Procedimiento para mantenimiento correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión.**

**Fuente: Violeta Salgado 2022.**

El sistema que se propone tiene como objetivo responder problemáticas existentes en el proceso de mantenimiento correctivo en estructuras de hormigón armado, se establecerán para acciones para su cumplimiento.

**Acción 1-1: Crear equipos de trabajo y definir instituciones responsables**

Las actividades se desarrollarán por dos equipos de trabajo. Estos tendrán como componente básico la multidisciplinariedad y la intersectorialidad, con las características siguientes:

1. Equipo de especialistas: tendrá como función fundamental la planificación, organización, ejecución y control de cada uno de los pasos previstos en el procedimiento, y estará conformado por representantes con conocimiento de la gestión ambiental urbana y la preservación.



2. Equipo colaborador: que realizará como funciones fundamentales la recopilación de información, búsqueda de consenso y apoyo en la participación, aplicación y control de las acciones diseñadas. Su composición está dada por actores locales (empresas comprometidas con el tema ambiental, patrimonial y urbano en vínculo con la preservación, universidades, centros de estudios e investigación asociados, entre otros), el gobierno local, el sector productivo o de servicios, como parte de lo institucional.
3. Determinar las instituciones responsables.

El procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón Armado afectadas por la corrosión demanda de una concepción que asegure que las acciones propuestas se logren. Para poder integrar procesos de planificación y control es de vital importancia el trabajo entre las instituciones propuestas dentro de las que se proponen: lo que juega un papel importante en la calidad de las acciones a realizar:

1. Las empresas constructoras.
2. La Universidad de Holguín SEDE "Oscar Lucero Moya."
3. El ministerio de Cultura.
4. El gobierno local.
5. Los Comité de Defensa de la Revolución (CDR).
6. Dirección municipal de la vivienda.
7. Las escuelas que se encuentren ubicadas cerca del inmueble.

Todas estas instituciones deben fortalecer las habilidades para el trabajo en grupo y el manejo de información. Es conveniente garantizar que los miembros de estos dominen información de carácter estratégico. Todo se logra mediante la realización de talleres, seminarios y conferencias de capacitación mediante la revisión documental y entrevistas.

Acción 1-2: Inspección Visual y Realización de Ensayos.

La inspección preliminar en un edificio y/o elemento, es una primera aproximación que tiene por finalidad analizar el estado actual de la estructura del edificio, la presencia de lesiones o fallas en la estructura principal o secundaria del mismo y la presencia de factores de deterioro en el hormigón. Los resultados de esta inspección provienen de un reconocimiento visual, que luego se

complementarán con pruebas o ensayos "in situ" o de laboratorio sobre sus materiales componentes. Esta inspección indicará en consecuencia:

a) Si existen fallos o lesiones que aparentemente requieran un refuerzo o apuntalamiento inmediato de la estructura, debido a su peligrosidad y de una evaluación estructural.

b) Si existen fallos o lesiones que aparentemente no requieran un refuerzo o apuntalamiento inmediato de la estructura, pero se recomienda una evaluación estructural.

c) Si no existen fallos o lesiones aparentes o no es necesaria actuación inmediata, por lo que es innecesaria una evaluación estructural.

La cual se desarrollara de la siguiente manera ver figura 2.2,

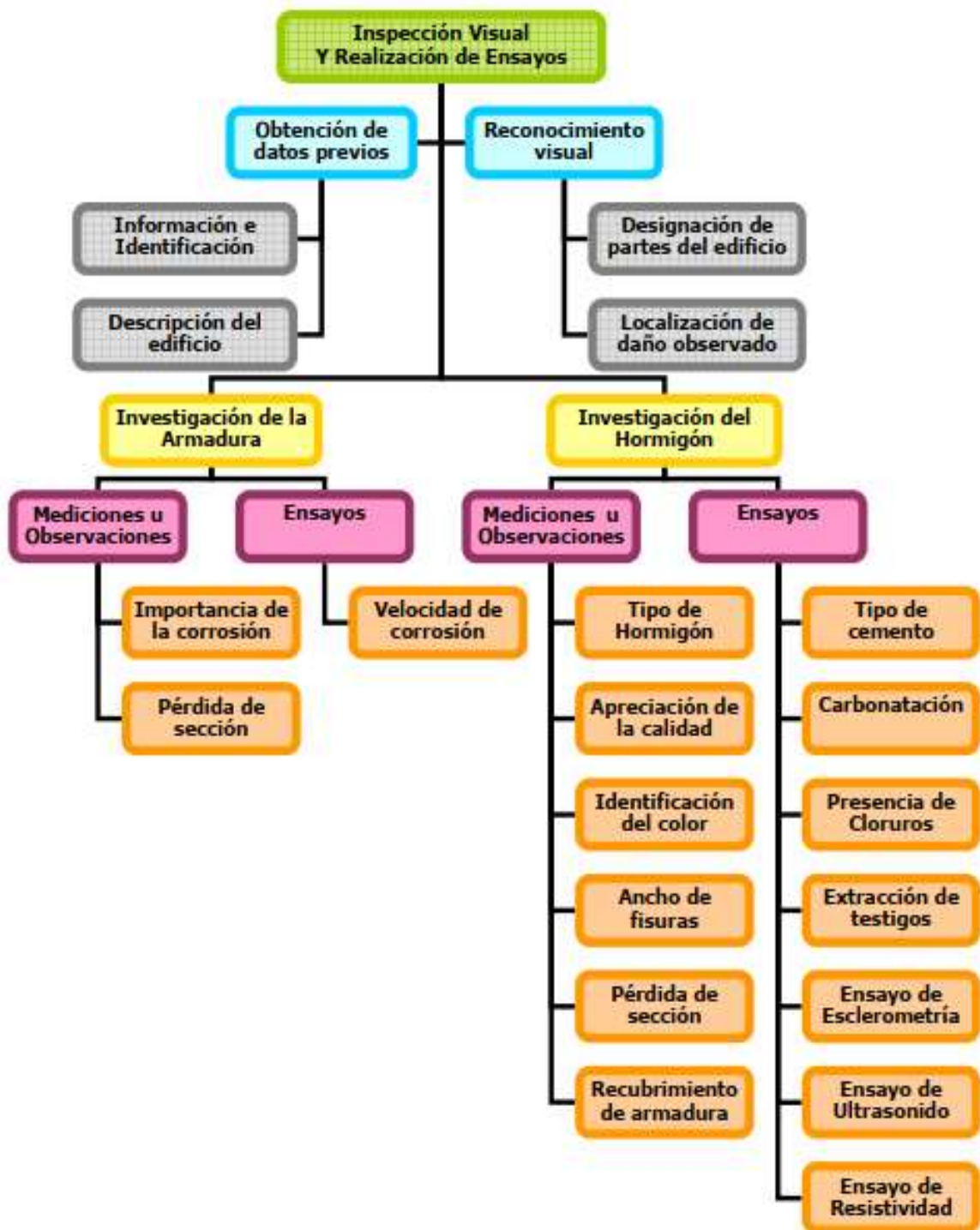


Figura 2.2: Muestra en detalle el proceso de Inspección Visual y realización de ensayos.  
 Fuente: Violeta Salgado 2022

43  
 Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.

Para la realización de esta acción se iniciará con la recogida de información la cual se desarrollará mediante la obtención de datos previos de la siguiente forma:

Obtención de datos previos

- Información e identificación

La recogida de información, tanto verbal como escrita o gráfica, se refiere a los datos que se puedan recopilar de diversas fuentes públicas o privadas, ya que difícilmente se va a encontrar una descripción completa del edificio tal como fue realmente construido. Datos particularmente interesantes pueden ser:

Etapa 3: Monitorear y Controlar

Objetivo: Evaluar el grado de aplicación de los trabajos de mantenimiento correctivos en estructuras de hormigón armados afectadas por la corrosión.

- Incidencias sobre la vida útil del edificio, intervenciones o reparaciones de cualquier tipo, cambios de uso, etc.
- Presencia de catástrofes (sismos, incendios, entre otros), etc.
- En caso de encontrarla, memoria y planos del proyecto original del edificio y autores del mismo.
- Empresa constructora.
- Edad de la estructura.
- Datos de clima, fenómenos climáticos y agresividad ambiental.
- Otra información que se considere relevante.
- Descripción del edificio.

Se refiere a los datos que se han de elaborar, basándose en la información recogida y en la propia visita o visitas de inspección. El contenido debe ser descriptivo de la tipología edificatoria y no contener indicación de los daños o lesiones, que son objeto del siguiente apartado. En el caso de que no exista información gráfica es necesario generarla a lo largo del proceso.

La descripción escrita debe incluir:

- Composición del edificio.

- Tipología de la estructura.
- Disposición de los elementos resistentes.
- Edad de la estructura.
- Materialidad de los distintos elementos constructivos.
- Descripción gráfica, que debe incluir planos o esquemas de plantas y elevaciones de la estructura, planta esquemática del funcionamiento de la estructura con la disposición de los elementos resistentes coincidentes con el estado actual del edificio.
- Fotografías del exterior e interior de la estructura

### **Reconocimiento visual del edificio**

#### Objetivo

Detectar e identificar las lesiones (fisuras, grietas, humedades,..) en los elementos estructurales o en aquellos otros que puedan ser origen o indicar síntomas de daños en la estructura.

#### Material

- Papel para tomar notas y croquis de lo observado
- Cámara fotográfica, cinta métrica, linterna, escalera o andamio.

#### Generalidades

El objetivo del reconocimiento visual es detectar, identificar y calificar las lesiones (fisuras, grietas, humedades,..) en elementos constructivos, ya sean elementos estructurales o en aquellos otros que puedan indicar síntomas de daños en la estructura. En el caso de las armaduras, además de identificarse los daños observados por inspección visual, también se realizarán pruebas y ensayos.

Las lesiones y sus síntomas son los signos que manifiestan el deterioro de las estructuras o sus elementos componentes, y constituyen los indicadores que se deben describir y evaluar en una inspección.

Antes de iniciar el reconocimiento visual, es necesario realizar algunos pasos previos cuyo objetivo principal es denominar las distintas partes del edificio para su correcta identificación posterior.

Designación de partes del edificio.

Antes de comenzar la inspección debe establecerse una designación de las partes del edificio:

En una sección esquemática han de numerarse los niveles, a partir del 01, empezando por el más bajo e independientemente de que sean de sótano, u otros usos, deben numerarse correlativamente desde el primero hasta el último nivel. Sobre un croquis de la planta del edificio, se identificarán columnas, vigas u otros elementos, asignándole una numeración correlativa.

Realización del reconocimiento visual

Se deben revisar los elementos ubicados en las áreas del edificio que pueden suponer mayor riesgo. Hay que destacar que, en consecuencia, esta inspección está sesgada y dirigida a los puntos críticos de modo que puedan identificarse las circunstancias más desfavorables, ya que el muestreo y el número de pruebas pueden ser reducidos, dependiendo del presupuesto destinado a ello.

En los esquemas, plantas y secciones utilizadas para la descripción del edificio, se localizarán los daños observados. Además, se incluirán fotografías de las lesiones detectadas.

En el reconocimiento visual de las distintas unidades de inspección, se realizará una calificación del daño observado en cada elemento inspeccionado. Las posibles calificaciones a asignar a cada daño observado son las siguientes: Despreciable, Bajo, Moderado y Alto.

Acción 3-1: Monitorear las acciones de preservación desde lo ambiental.

Ante la necesidad de dirigir todas las acciones de preservación llevadas a cabo se elaboraron dichas regulaciones, que sirven además de marco jurídico para el control y

46

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.

mejora de dichos recursos. Para ello, el equipo de especialistas, junto al de colaboradores, debe tener en cuenta las tareas siguientes.

Tarea 1: Establecer chequeos del cumplimiento de las regulaciones generales y específicas durante la realización de acciones de preservación de la edificación, que estén o no vinculadas con las afectaciones que puedan tener otros componentes del inmueble. En esta tarea trabajan en conjunto el equipo de colaboradores con los agentes locales en la toma de decisiones.

Tarea 2: Aplicar el marco legal vigente en caso de violaciones del cumplimiento de las regulaciones generales y específicas para los recursos construidos de valor patrimonial.

Acción 3-2: Evaluar las acciones de preservación desde lo medio ambiental

Para esta evaluación se toma una muestra de los equipos de trabajo, tanto de los especialistas como de los colaboradores, que tenga dominio de las acciones que se efectúan. Además se lleva a cabo una junta semanal en donde se discute la diversidad de criterios respecto a la calidad y rapidez de las labores. Para ello se tiene en cuenta:

- Cumplimiento de las acciones de preservación diseñadas.
- Calidad de los materiales que se suministran.
- Acatamiento de las normativas.
- Desempeño de la mano de obra.
- Avance de los trabajos.
- Respeto del presupuesto.

Acción 3-3: Ajustar y retroalimentar las acciones de preservación desde lo medio ambiental.

Al analizar los indicadores de evaluación de las acciones propuestas, se puede conocer el grado en que se cumple con lo planificado, en la medida en que éstos se muestren afectados se tiene que profundizar en cuáles son las causas que acarrear los incumplimientos. En consecuencia, ambos equipos de trabajo, diseñan acciones correctivas que proceden. Para ello, la evaluación debe considerar las tareas siguientes:

Tarea 1: Analizar las causas potenciales que pueden incidir en el cumplimiento de las acciones planificadas en su relación con:

- Inestabilidad o carencia de insumos y medios de trabajo para desarrollar los trabajos de mantenimiento, aparejado que con los que se cuenten no sean los indicados.
- La calificación del personal.
- La falta de exigencia y control en el desarrollo de los trabajos de mantenimiento correctivos.

Tarea 2: Diseñar medidas precisas que permitan disminuir las distorsiones respecto a lo planificado, a partir de la incidencia de las causas anteriores u otras no previstas.

Tarea 3: Comenzar un nuevo ciclo de aplicación del procedimiento como resultado de las acciones anteriores. Se puede iniciar por:

- Etapa I: Planificar–Organizar en caso de existir cambios en las condiciones organizativas.
- Etapa II: Ejecutar-Regular al existir la posibilidad de que las acciones que se proponen en esta etapa no cumplan con las expectativas propuestas

2.2 Valorar la factibilidad del procedimiento mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión mediante el criterio de especialista.

Para ofrecer una valoración de la factibilidad de la propuesta, el procedimiento elaborado se lleva a criterio de especialistas. El primer paso en la aplicación del método fue la selección de estos. En este caso se conforma un grupo heterogéneo de 17 personas a los cuales se les aplica una entrevista con el objetivo de determinar el coeficiente de competencia de los posibles expertos. Los cuales tienen que cumplir los siguientes requisitos:

Universitarios

Más de 10 años en su desempeño profesional.

El dominio teórico de las temáticas, referentes a la preservación de edificaciones con valor patrimonial.

Una trayectoria avalada por resultados científicos-investigativos destacados.

Voluntariedad para su cooperación con la investigación.



Se lleva a cabo la interpretación e implementación de este método en donde se sigue los criterios teóricos y científicos que plantea el mismo para la selección de los especialistas y su posterior proceder evaluativo. Se escoge a los especialistas en correspondencia a la profesión, especialidad, experiencia laboral, cargo institucional que ocupa actualmente. Los 17 especialistas fueron sometidos al análisis correspondiente para determinar su coeficiente de competencia el que fue determinado como alto (K):

$$K=1/2(K_e+K_a).$$

Donde  $K_e$  es el Coeficiente de Información y;

$K_a$  es el Coeficiente de Argumentación.

Donde K cualitativamente asume los rangos de bajo, medio y alto.

Estos rangos están dados cuantitativamente, según estudios, de la siguiente forma:

$$0.25 \leq K < 0.5 \quad K=\text{bajo};$$

$$0.5 \leq K < 0.85 \quad K=\text{medio};$$

$$0.85 \leq K \leq 1 \quad K=\text{alto}.$$

Este coeficiente de competencia se determinó a partir de una tabla que contiene elementos que permiten medir los niveles de argumentación o fundamentación sobre el tema propuesto. Esto permitió realizar las valoraciones pertinentes respecto a la competencia de los 17 especialistas seleccionados:

- 4 profesores del Departamento de Ingeniería Civil
- 4 profesionales con más de 10 de experiencia del CITMA.
- 2 profesores del Departamento de Economía
- 3 profesores del Departamento de Ingeniería Industrial.
- 4 arquitectos de la oficina de patrimonio de la ciudad.

De los 17 especialistas respondieron la primera encuesta 12, de los cuales se seleccionaron 10 a los que se les envió la segunda encuesta. De ellos 6 presentan un coeficiente de competencia superior o igual a 0,8 ( $0,8 \leq K \leq 1$ ), al ser categorizados como

especialistas altos y otros, 4 presentan el coeficiente de competencia en este intervalo:  $(0,5 \leq K < 0,8)$ , clasificados como especialistas medios; mientras que 3 especialistas no resultaron seleccionados para aplicarles la segunda encuesta al tener sus coeficientes de competencia inferiores a  $K < 0,5$ . El coeficiente de competencia promedio de los expertos seleccionados resultó de 0.88. Este coeficiente de *alfa de crombach* asegura la fiabilidad en la selección de los especialistas.

En la entrevista de valoración se sometió a la consideración de los especialistas lo siguiente:

Las concepciones teóricas y metodológicas propuestas en el procedimiento sirven de base para el desarrollo del procedimiento para la gestión de la preservación desde lo medio ambiental. El 73.33% de los especialistas respondió muy adecuado, 26.67% que bastante adecuado, lo que suma un 100%.

Las fundamentaciones teóricas realizadas permiten revelar la necesaria implementación de acciones que promuevan la preservación en edificaciones con valor patrimonial. El 60% de los especialistas respondió muy adecuado, 30% que bastante adecuados, el 10% adecuado, lo que suma un 100%.

El procedimiento se valora como una vía para la reducción de las patologías presentes en edificaciones de valor patrimonial. El 66.67% de los especialistas respondió muy adecuado, 26.67% que bastante adecuados, el 6.60% que adecuados, lo que suma un 100%.

El procedimiento propuesto garantiza una aplicación práctica eficiente según su estructura y función. El 80% de los especialistas respondió muy adecuado, 20% que bastante adecuados, lo que suma un 100%.

El procedimiento propuesto garantiza una aplicación práctica eficiente según su estructura y función. El 73.30% de los especialistas respondió muy adecuado, 20% y 6.60% adecuado que bastante adecuados, lo que suma un 100%.

El resultado de opiniones de los especialistas acerca de los aspectos que evalúan la propuesta en correspondencia con las categorías planteadas, permitió conocer que los 6

aspectos evaluados por los expertos fueron considerados positivos.

Las sugerencias ofrecidas están centradas en el enriquecimiento del procedimiento. Vale en este punto destacar que los especialistas consultados, se mostraron muy interesados en participar directamente en la aplicación de la propuesta y dar continuidad a la misma, aspectos que corroboran la hipótesis planteada.

## Conclusiones parciales

- En este capítulo se da a conocer el procedimiento a realizar para los mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión, así como las etapas del mismo, para su posible mantenimiento.

## Conclusiones

Una vez efectuado el análisis e interpretación de los resultados obtenidos del trabajo experimental desarrollado en la presente investigación, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- El estudio del marco teórico referencial de los mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armados afectados por la corrosión, dio a conocer sus limitaciones para así conformar un método adecuado.

Se diseñar un procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión, posibilito diseñar un método adecuado para la realización de estos mantenimientos.

## Recomendaciones

- Se recomienda a la oficina de patrimonio de la ciudad de Holguín, así como a las empresas constructoras estudiar dicho procedimiento para su validación y posterior aplicación como herramienta de trabajo.
- Se recomienda al Dpto. de Construcciones de la UHO continuar la presente investigación en otros trabajos de diploma donde se aplique el procedimiento en edificaciones de la ciudad afectados por la corrosión.
- Hacer extensiva esta temática, ratificando la necesidad del mantenimiento preventivo en las edificaciones actuales.
- Realizar una amplia edición del Manual para la conservación y mantenimiento de inmuebles, de modo que existan ejemplares en aquellos lugares donde se precise de este tipo de información.
- Llevar la experiencia de este trabajo a obras arquitectónicas con diferentes características.
- Trasladar el presente trabajo a la experiencia práctica, recogiendo los resultados alcanzados.
- Incorporar profesionales en ingeniería a las labores que requieren de planificación, estructuración y coordinación del mantenimiento y las otras actividades que realiza el proceso.
- Este procedimiento se puede utilizar como un Manual para el uso, Mantenimiento y Conservación de edificaciones

## BIBLIOGRAFÍA

A. Cobo Escamilla. "Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón armado: Causas y procedimientos de rehabilitación". Ed. Fundación Escuela de la Edificación, Madrid (2001).

Alaejos, P. (1998). *Los procesos físicos de degradación del hormigón*. Curso sobre durabilidad y reparación de estructuras de hormigón. CEDEX. Madrid.

A.J. Al-Tayyib, M.S. Khan, I.M. Allam, A.I. Al-Mana. "Corrosion behaviour of pre-rusted bars after placement in concrete". *Cement and Concrete Research*. Vol. 20 (6) pp. 955-960, (2000).

AGUIRRE, A. M. & MEJÍA DE GUTIÉRREZ, R. 2013. *Materiales de Construcción*,

Universidad del Valle, (Cali, Colombia).

AUTORES, C. 1985. Consideraciones sobre la remodelación de ciudades. 361-362.

Babé Ruano, Manuel (1988). "Mantenimiento y Reconstrucción de Edificios". Editora ISPJAE Universidad de la Habana. p 11-12.  
Tavarés Augusto, Lourival (2004). Gestión de Mantenimiento enfocada a los Costos. p 6.

BERMÚDEZ ODRIOZOLA, M. A. 2007. *Corrosión de las armaduras del hormigón armado en ambiente marino: zona de carrera de mareas y zona sumergida* Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos TESIS DOCTORAL, Universidad Politécnica de Madrid

DESCONOCIDO. 2005. Experiencias de restauración en la ciudad de Madrid [Online]. Available: <http://www.espormadrid.es>.

D.D.N. Singh, R. Ghosh, B.K. Singh "Fluoride induced corrosion of steel rebars in contact with alkaline solutions, cement slurry and concrete mortars". *Corrosion Science* 44, pp 1713-1735 (2002).

Días Suarez Gunter, (2006), Medidas preventivas para la conservación y mantenimiento de inmuebles expuestos a riesgo biológicos, tesis presentada para obtener el grado científico de master, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara. Cuba

E. Ramírez Cruz. "Corrosión de las armaduras embebidas en hormigón en ambientes de extrema agresividad. Posibilidades de protección mediante inhibidores". Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid (1994).

ECHAZÁBAL PÉREZ, L. 2005. La influencia de la humedad en la calidad y durabilidad de las construcciones.

FERNÁNDEZ, F. C. 2009. *Análisis del fenómeno de la corrosión en materiales de uso técnico: metales. Procedimientos de protección.*

G. K. Glass, R. Yang, T. Dickhaus, N.R. Buenfeld. "Backscattered electron imaging of the steel- concrete interface". Corrosion Science, Vol. 43, pp. 605-610 (1998).

Grupo español del hormigón (GEHO). "Durabilidad de estructuras de hormigón". Guía de diseño del CEB", Boletín nº 12, cap. XIV, pp.137-139 (1993).

M. Fernández Cánovas. "Hormigón". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 6ª edición. pp. 3-11, Madrid (2002).

M. Moreno, W. Morris, M.G. Álvarez, G. S. Duffó. "Corrosion of reinforcing steel in simulated concrete pore solutions. Effect of carbonation and chloride content" Corrosion Science, 40 pp 2681-2699 (2004).

METHA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. 1986. *Concrete. Structure, Properties and Materials*, Prentice Hall.

Plan andaluz de vivienda y suelo. Manual general para el uso, mantenimiento y conservación de edificios destinados a viviendas.- Andalucía: Consejería de ObrasPúblicas y Transporte de la Junta de Andalucía. 2002-. 298 p.

P. Schiessl. "Durability of reinforced concrete structures". Construction and Building Materials, Vol.10, pp.289-292 (1996).

RINCÓN, O. T. D., CARRUYO, A. R. D., ANDRADE, C., HELENE, P. & DÍAZ, I. 1997. *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado.*, Río de Janeiro.



## ANEXOS

### Anexo 1: Ejemplos de corrosión del acero en estructuras de hormigón armado



Fuente: <https://ingeniosasesores.com>

Procedimiento para mantenimientos correctivos en estructuras de hormigón armado afectada por la corrosión.

**Anexo 2: Ejemplo de mantenimientos a estructuras afectadas por la corrosión.**



Fuente: <https://360enconcreto.com>

