



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA ESTRUCTURAL



MANUAL DE REPARACIÓN DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO SOMETIDAS A EFECTOS DE CORROSIÓN

Tutor: Prof. Héctor Buyones

Autores: BOGADO B. Magdalena N.
VILLEGAS L. Martha L.

Bárbula, Junio de 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA ESTRUCTURAL



MANUAL DE REPARACIÓN DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO SOMETIDAS A EFECTOS DE CORROSIÓN

Tutor: Prof. Héctor Buyones

Autores: BOGADO B. Magdalena N.
VILLEGAS L. Martha L.

Bárbula, Junio de 2012

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, por no abandonarme en este transitar de la vida, y permitirme alcanzar esta nueva meta.

-A la Ing. María Alice Olavarrieta, profesora de la Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado, quién con sus orientaciones y su palabra oportuna hizo posible la elaboración de este trabajo de grado; y a la Dra. Oladis Troconis de Rincón, Directora del Centro de Estudios de Corrosión de la Universidad del Zulia, que a pesar de sus compromisos tuvo la enorme deferencia de ayudarnos y suministrarnos la información requerida para nuestra investigación.

-A Elvira, a quién le debemos gran parte de ésta investigación, por su constante ayuda y oportunos consejos.

-A Martha Lorena, mi compañera y amiga, por compartir conmigo esta increíble travesía.

Magdalena N. Bogado B.

DEDICATORIA

A Dios, la roca firme que cimienta mi vida, por no abandonarme en este transitar y ser mi luz en la noche oscura de la fe.

A mis padres, por enseñarme que los conocimientos no son nada sino vienen acompañados de humildad; por todos los instantes maravillosos que Dios me ha regalado a su lado y su especial manera de guiarme y sostenerme en medio de las tribulaciones.

A mis hermanos; Abraham quién ha sido mi gran amigo y cómplice desde la infancia, a mis dos ángeles porque donde quiera que estén se que están velando por mí.

A todos aquellos que en este largo recorrido llamado vida, han sido mis compañeros de jornada, con quienes he compartido alegrías y tristezas. Familiares, amigos, hermanos, no tengo palabras para expresar mi agradecimiento; solo puedo bendecir a Dios por rodearme de gente tan maravillosa, de quienes he aprendido y sigo aprendiendo.

Magdalena N. Bogado B.

AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a Dios por concederme la vida
y regalarme día a día tantas oportunidades para crecer
y desarrollarme espiritual y emocionalmente,
avanzando siempre por los caminos del bien y la justicia.*

*Gracias mamá por darme la oportunidad
de tener hoy un testimonio de eterno agradecimiento hacia ti
por el apoyo moral y material
que siempre me has dado
y con lo cual he logrado culminar mi carrera profesional,
que para mí es la mejor herencia que puedes dejarme;
gracias por ayudarme a cruzar con firmeza y valentía
el sendero de la superación,
sé que seguirá siendo así porque juntas somos el mejor equipo.
Gracias por confiar y creer en mí,
por darme fuerzas, por arriesgarte, por sacrificarte,
por estar junto a mí en los momentos dulces y amargos
y sobre todo gracias por ser mi mamá.
Hoy alcancé una meta que es más tuya que mía
por dedicarte a guiar mi vida con amor y energía
y hacer de mí la mujer que soy.
Te amo mamá.*

*Gracias a mi tía Elvira,
por creer en nuestro proyecto
y prestarnos toda su colaboración,
por convertirse en una tutora más de esta investigación,
por corregir nuestros errores
y brindarnos ayuda y dedicación sin interés alguno...
Por siempre agradecida contigo tía!
Gracias a la Ing. María Alice Olavarrieta,
quien nos aportó conocimientos y apoyo de forma incondicional
desde el día que la conocimos.
Gracias a Magda, por ser mi amiga y mi compañera en esta etapa,
por confiar siempre en nuestras ideas y sacarlas adelante,
por los trasnochos, los días agotadores,
por la lucha incansable para sacar un sueño adelante,
por mantener siempre vivas las ganas de superar todos los obstáculos...
Sin tí no hubiera sido posible lograrlo amiga, te quiero mucho!*

*Gracias a mi papá, abuelas, tíos, tías y primos
por toda su colaboración a lo largo de mi vida
y mi carrera universitaria.*

*Gracias a mis amigas y a mis amigos incondicionales
que siempre han estado a mi lado,
apoyándome y aconsejándome en todo,
no los menciono porque es una larga lista
pero a todos los aprecio muchísimo.*

*Y a todos aquellos que de una u otra forma me han acompañado
y que se me escapan de la mente
pero no dejan de ser importantes.*

*A todos un millón de gracias
y que Dios los acompañe siempre.*

Martha Lorena Villegas Landívar.

DEDICATORIA

*A ti, que has creído en mí desde antes de nacer,
me has visto crecer y has apoyado cada uno de mis proyectos
luchando a mi lado sin descansar hasta lograrlos...
A ti que has llorado y has reído las vivencias que he tenido...
A ti que has trabajado sin cansancio
arriesgándolo todo por y para mí
sin temor a fracasar...
A ti que has sido, eres y serás siempre mi compañera de vida...
A ti que eres la razón de mi existir, mi fuerza, mi inspiración, mi mejor
regalo...
A ti mamá te dedico mi Trabajo de Grado para optar por el título de
Ingeniero Civil.*

*A Míme, quien vio crecer y cuidó en su niñez
a la mujer responsable de darme la vida
y que luego haría lo mismo conmigo
desde mi llegada a este mundo...
A ti que jugaste conmigo cada día que pasamos juntas
y que te convertiste en otra mamá para mí,
sé que hoy estarías muy orgullosa
de ver que tu niña es una mujer profesional.*

*A mi papá, abuelas, tíos, tías y primos
que también han compartido mi vida y mis experiencias.*

*A mi amiga, hermana y compañera de tesis: Magda...
Las palabras sobran para decirte cuanto cariño te tengo amiga!!!
Eres increíble, que Dios te bendiga siempre.*

*A mis amigas y amigos,
quienes se han unido a mí a lo largo
del corto camino que llevamos recorrido de nuestras vidas...
Los quiero muchísimo a todos!*

Martha Lorena Villegas Landívar.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	3
EL PROBLEMA	3
Planteamiento del problema	3
Objetivos de la Investigación	5
Justificación del Estudio	6
Alcance	8
Limitaciones	8
CAPITULO II	
MARCO TEORICO	9
Antecedentes de la Investigación	9
Bases Teóricas	14
Manual	14
Estructura	15
Columnas	17
Vida útil de las estructuras	17
Esfuerzos que influyen sobre las estructuras	22
Concreto	25
Concreto Armado	26
Características y propiedades del Concreto Armado	26

Corrosión	27
Tipos de Corrosión	29
Características de la Corrosión del Concreto	31
Proceso Químico de la Corrosión	32
Manifestación de daños en el Concreto	37
Reparación de Daños en el Concreto	41
Marco Normativo Técnico	43
CAPITULO III	
MARCO METODOLOGICO	51
Tipo de Investigación	51
Diseño de la Investigación	52
Proceso Metodológico	52
Población y Muestra	54
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	56
Revisión Bibliográfica	57
Entrevista No estructurada	57
Encuesta	57
Validación...	58
Confiabilidad	58
Análisis de Datos	60
CAPITULO IV	
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADO	62
Fase I: Diagnóstico de las necesidades de la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de corrosión	62
Fase II: Análisis de la factibilidad técnica y operativa del proyecto para la verificación de su viabilidad	75
Fase III: Procedimiento para la elaboración del manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de corrosión.	77

CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
ANEXOS	129
ANEXO A	130
Cuestionario	
ANEXO B	132
Juicio de Expertos	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pg
1	Vida útil de las Estructuras de Concreto en función del fenómeno de la corrosión del refuerzo	20
2	Abaco para la determinación del espesor de recubrimiento sobre las armaduras en función del ambiente (Zona urbana e Industrial); del concreto (Resistencia entre 10 y 50 Mpa) y de la vida útil deseada de 1 -100 años	21
3	Vida útil en función de la corrosión de la armadura	22
4	Fisuras generadas por cargas directas	39

INDICE DE GRÁFICAS

Grafica		Pg
1	Ítem 1	65
2	Ítem 2	66
3	Ítem 3	67
4	Ítem 4	68
5	Ítem 5	69
6	Ítem 6	70
7	Ítem 7	71
8	Ítem 8	72
9	Ítem 9	73
10	Ítem 10	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas		Pg
1	Estratificación de la Población	63
2	Estratificación Población- Muestra	64
3	Análisis Porcentual General	72



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA ESTRUCTURAL



MANUAL DE REPARACIÓN DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO SOMETIDAS A EFECTOS DE CORROSIÓN

Autores:

Bogado B, Magdalena N
Villegas L, Martha L
Junio, 2012

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad la elaboración de un Manual de Reparaciones de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de corrosión. La problemática que se presenta es que cuando la estructura se encuentra en ambientes agresivos pueden generarse fallas que afectan la vida útil de las edificaciones, en especial las columnas, que siendo un elemento de tanta importancia en el sistema estructural puede verse expuesto a estas fallas; a pesar de esta realidad, en Venezuela no existe una normativa como tal, tomando este argumento surge la interrogante de desarrollar un Compendio de apoyo para los profesionales en el área. La investigación esta enmarcada en un Proyecto Factible. La población la conforman los docentes del Departamento de Estructura y los estudiantes del octavo semestre de la carrera de ingeniería civil. Las técnicas de investigación utilizadas fueron la Investigación Bibliográfica, La Entrevista y la Encuesta, así mismo sus instrumentos son la Ficha Técnica, la Entrevista no Estructurada y el Cuestionario. El procedimiento metodológico se llevo a cabo en tres fases como son el diagnóstico de la necesidad, el análisis de la factibilidad y el desarrollo del Manual. Una de las razones más importante de la elaboración del Manual es la de fortalecer y orientar sobre las fallas ocasionadas debido a la corrosión.

Descriptor: Columnas, Corrosión, Normativas

INTRODUCCIÓN

El concreto armado es una técnica empleada ampliamente a nivel mundial, debido a su versatilidad en cuanto al diseño y durabilidad. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, cuando la estructura se encuentra en ambientes agresivos pueden generarse fallas que afectan la vida útil de las edificaciones, en especial de las columnas, que siendo un elemento de tanta importancia en el sistema estructural puede verse expuesto a éstos factores, provocando serias afecciones que comprometen su desempeño tanto desde el punto de vista de la resistencia mecánica como respecto a la durabilidad de la estructura. En este sentido, y partiendo de la necesidad de reparar efectivamente las columnas, se fundamenta este trabajo especial de grado, en el que se desea proponer manual de reparación de columnas de concreto armado, concentrándose en las fallas causadas por el fenómeno de la corrosión, de manera de proporcionar herramientas que permitan la intervención y reparación oportuna, evitando futuros daños irreversibles que comprometan seriamente a la edificación.

Uno de los propósitos más importantes del estudio de este tema, es brindar un compendio bibliográfico con lenguaje sencillo y dinámico que permita al lector conocer las principales consideraciones a tener en cuenta al realizar una reparación.

El capítulo I contiene el planteamiento del problema, los objetivos tanto el general como los específicos, la justificación y delimitación, describiendo

respectivamente la problemática que se genera en las columnas de concreto armado sometidas al fenómeno de la corrosión.

En el capítulo II se encuentran los textos que sirvieron de punto de apoyo para realizar el presente trabajo, así como el marco teórico donde se plantean los preceptos concernientes a la corrosión en el concreto armado, en especial en las columnas, conjuntamente con los principios de reparación.

El capítulo III presenta el tipo y diseño de la investigación así como otras definiciones importantes para el desarrollo, como: población, muestra, descripción de la metodología, técnicas e instrumentos de recolección de datos y análisis de datos.

En el capítulo IV se expresa el resultado de la investigación, primeramente diagnosticando la necesidad de la elaboración de un manual que comprenda la reparación de columnas de concreto armado sometidas a efectos de corrosión, el estudio de su factibilidad técnica y operativa y finalmente la propuesta, esbozando los objetivos y estructuras de la misma.

Para finalizar se presentan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron del estudio realizado, haciendo énfasis en la necesidad de seguir indagando en este ámbito, para garantizar, en un futuro, estructuras diseñadas bajo criterios de durabilidad que brinden confort y seguridad a sus usuarios.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

En las edificaciones de obras estructurales es fundamental inspeccionar y controlar el proceso constructivo; también lo es el conjunto de factores ambientales a los cuales estarán sometidas, el cúmulo de todos estos aspectos garantizarán la permanencia y la vida útil de las construcciones.

Durante muchos años se ha observado mundialmente cómo el fenómeno natural de la corrosión afecta diversas estructuras, especialmente las que se encuentran en las zonas costeras; Venezuela, debido a su ubicación geográfica, no escapa a esta situación. Porrero, J. (2009)

Resulta importante destacar que en la amplia extensión de zonas costeras de este país se distribuyó una alta densidad poblacional aunada al número elevado de industrias, siendo la más emblemática la industria petrolera y sus derivados, quienes conforman el medio ideal para el desarrollo de la corrosión.

A pesar de esta realidad, no existe en el país una normativa que se enfoque en la durabilidad de las estructuras, métodos preventivos y de

rehabilitación de las mismas, solo se dispone de la “Norma Venezolana para el Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural” (COVENIN 1753:2006) que en su capítulo IV hace referencia a los Requisitos de Durabilidad del Concreto, sin profundizar en detalles acerca de esta problemática; y actualmente, está en discusión en nuestro país la Norma 272.1-004: Concreto – Durabilidad.

Hoy por hoy, con el manejo de tecnologías en el estudio de patologías de edificaciones e ingeniería de materiales, han surgido diversas opciones que podrían ofrecerse como soluciones ante la necesidad de rehabilitar una estructura, mayormente por el desconocimiento en un gran número de casos de cómo se presentan los primeros síntomas de afectación. Helene, P. (2000)

Como bien es sabido, las edificaciones están conformadas por un sistema compuesto por un conjunto de partes que garantizará la capacidad de la estructura para soportar los esfuerzos a los cuales será sometida; en este sentido, las columnas son aquellos elementos estructurales dispuestos verticalmente en la construcción que están diseñados para resistir compresión, y debido a la gran importancia que tienen dentro de todo el sistema, es fundamental conservar íntegramente las condiciones bajo las cuales fueron diseñadas y construidas.

Se precisa entonces la aparición cada vez más frecuente de casos de columnas con severos daños producto de la corrosión de su acero de refuerzo, en donde la coexistencia prolongada con humedad y/o agua disparan este proceso patológico algunas veces bastante violento, presentándose en los peores casos pérdida de secciones en el acero y en el propio concreto así como la disminución de adherencia entre ambos materiales, por lo que es necesario conocer los métodos que pueden

emplearse para reparar las columnas afectadas una vez realizado el estudio diagnóstico pertinente por parte de un especialista. Porrero, J. (2009)

Formulación del Problema

Tomando como base todos los argumentos antes expuestos, han surgido las siguientes interrogantes:

¿Existe la necesidad de la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión?

¿Se podrá desarrollar el procedimiento para la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión?

Para responder estas interrogantes se planteó el desarrollo del Trabajo Especial de Grado titulado: “Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión”.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

- Diseñar un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar la necesidad de la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión.
- Analizar la factibilidad operativa y técnica de la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión para su viabilidad.
- Desarrollar el procedimiento para la elaboración del Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión.

Justificación

En la Ingeniería, la toma de decisiones al realizar una obra es fundamental para el correcto desarrollo de la misma, por lo que es necesario contar con toda la información posible sobre los materiales y procedimientos en la elaboración de un plan verdaderamente efectivo para la ejecución del proyecto.

Uno de los fenómenos más frecuentes en la construcción es la corrosión; particularmente en ambientes marinos, es un problema grave que ha venido afectando al mundo, ya que se pueden presentar manifestaciones patológicas de significativa intensidad, lo que lleva a elevados costos de reparación de la estructura, posible reducción de su capacidad resistente,

falta de estética y, dependiendo del grado del daño, podría verse afectada la seguridad de las personas. Debido a todo esto se hace necesario emprender acciones para reparar y alargar la vida residual de la estructura.

La selección del sistema de reparación a emplear dependerá de la gravedad del problema, de las condiciones internas y externas a la que esté expuesta la estructura y de los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles. La reparación localizada, sustituyendo el concreto contaminado por morteros de reparación ha sido el método más común para estructuras con la armadura corroída, independientemente del medio de exposición.

Por lo tanto, y debido a la gran cantidad de obras civiles ubicadas en la Región Costera de Venezuela, de gran implicación en la economía y que no solo incluye edificaciones de uso residencial sino también comercial e industrial, que se han visto o pueden verse afectadas por causa de la corrosión obliga a realizar un estudio que facilite la correcta elección y aplicación de los procedimientos de rehabilitación de las mismas.

Mediante este trabajo se especificarán los procedimientos prácticos, detallados y actualizados de acuerdo a los requerimientos que demandan las normas nacionales así como normativas internacionales para la reparación de estructuras sometidas a corrosión, tomando en cuenta que actualmente no existe una normativa nacional específica para tratar esta clase de problemática y teniendo siempre como base el diagnóstico elaborado previamente por un especialista en la materia.

Alcance

La presente investigación comprende el conjunto de medidas de reparación de columnas de edificaciones sometidas a los efectos de la corrosión y que aún se encuentren en su período de vida útil, debido a la influencia de ambientes agresivos (Zona Costera) y que reúnan todos los requisitos mínimos establecidos por la normativa venezolana vigente.

Considerando previamente realizado el estudio patológico, se desglosarán todas aquellas soluciones posibles para cada caso, sin perder de vista que no se pretende suplantar la labor de los especialistas en la materia, sino de brindar un material de soporte que facilite la toma de decisiones al presentarse dicho problema.

Finalmente se estima que este manual contribuya a difundir y unificar criterios en cuanto al tratamiento de estructuras sometidas a la problemática en cuestión, y a su vez proporcionar información a todas aquellas personas interesadas en este tema; así como también abrir un camino para futuros trabajos de investigación realizados por estudiantes de esta universidad.

Limitaciones

Este trabajo de grado se ve condicionado por la imposibilidad en el acceso a las edificaciones, ya que se debe contar con la autorización de los propietarios del lugar; lo cual puede resultar perjudicial para ellos puesto que están exponiendo públicamente el mal estado en el que se encuentran sus inmuebles, restándole así valor económico y quizás hasta ocasionar problemas legales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este estudio se llevó a cabo un proceso de recolección de información que sirvió de soporte para el progreso de la investigación; esto con el fin de contar con bases firmes que se relacionan directamente con el tópico del trabajo.

Antecedentes de la Investigación

En tal sentido, se presenta una síntesis de las investigaciones relacionadas con el área de desarrollo de este Trabajo Especial de Grado y cuyo contenido sirvió de referencia para el desarrollo del mismo.

Bermúdez (2007) en su Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Madrid, España, titulada : “Corrosión de las Armaduras del Hormigón Armado en Ambiente Marino: Zona de Carreras de Mareas y Zonas Sumergidas”, explica que el mencionado trabajo pretende contribuir al mejor conocimiento de concreto armado en ambiente marino con fines normativos, abordando aspectos relativos tanto a la calidad exigible al concreto situado en este ambiente, como a la selección del método de ensayo adecuado para evaluar la durabilidad del concreto armado, de modo que pueda utilizarse como ensayo de control de calidad.

Se plantea entonces un estudio experimental consistente en el análisis del concreto de siete muelles españoles contruidos con cajones flotantes; sobre los testigos extraídos de estos cajones, se realizaron una serie de ensayos (resistencia a compresión, velocidad de transmisión de ultrasonidos, penetración de agua bajo presión, porosidad abierta, absorción de agua, capilaridad, permeabilidad al oxígeno, determinación química del contenido de cloruros y profundidad de carbonatación) que permitieron seleccionar un método e ensayo para controlar la calidad del concreto.

Con todo esto se logró generar una base de datos de velocidades de penetración de cloruros, lo cual permitió desarrollar un modelo de difusión de cloruros válido para concretos fabricados con cemento portland normal o con adiciones minerales.

Se obtuvo como resultado que el control de la resistencia del concreto no garantiza su durabilidad, pero si es un efecto favorable para esta última la colocación de adiciones, también se observó que la aplicación del modelo desarrollado permitió evaluar la eficacia de los actuales requisitos normativos para garantizar una vida útil de cincuenta años de las estructuras marinas.

Con la anterior investigación se toma como base de estudios para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, que la utilización de cementos con alto contenido de adición permite conseguir concretos muy impermeables, incluso con dosificaciones menos estrictas que utilizando cemento portland.

Por su parte, Hernández (2009) elaboró como Tesis Doctoral en la Universidad de Granada: “ Evaluación de Microsílice en la Reparación de Vigas de Hormigón Armado Contaminado con Cloruros”, cuyos objetivos

principales fueron evaluar el comportamiento de reparaciones localizadas con morteros aditivados con microsilíce y ceniza volante, en estructuras de concretos armados expuestas a ambientes marinos, tanto desde el punto de vista mecánico como electroquímico, y comparar sus resultados con reparaciones realizadas con ánodos de sacrificios en las mismas.

Todas las mezclas preparadas fueron caracterizadas físico-mecánicamente y la evaluación en el tiempo se efectuó mediante ensayos electroquímicos: potencial de corrosión, velocidad de corrosión, (resistencia a la polarización) y polarización potenciodinámica cíclica; se utilizó un procedimiento experimental, donde se elaboraron morteros de reparación con el fin de encontrar uno que presentara características durable ante un ambiente agresivo marino y resultó que la microsilíce mejora las propiedades relacionadas con la durabilidad de la mezcla del mortero, tanto si se utiliza sola como si se utiliza como mezcla.

También se determinó en este estudio que independientemente del contenido de ceniza volante y de microsilíce, para activar la armadura en este ambiente tropical, se necesitan más de cuatro mil ppm de cloruros libre en base al contenido de cemento.

El trabajo de Hernández ayuda en la presente investigación debido a que ahí se determinó que aun cuando la reparación con mortero desde el punto de vista mecánico fue exitosa, los resultados electroquímicos muestran que la corrosión continuará si el concreto ya está contaminado de iones cloruros, incluso podría potenciar la corrosión de barras cercanas a la reparación.

En otro orden de ideas, Aurrekoetxea (2009) en su Tesis Doctoral en la Universidad de Burgos, España realizó la investigación titulada: "Reparación de Pilares con daños parciales localizados", cuyo objeto es analizar

métodos de reparación de pilares que no impliquen reconstrucción o refuerzo (incremento de capacidad resistente), sino reparación o recuperación de la capacidad resistente perdida por alguna lesión. Para ello, las técnicas de reparación o consolidación más empleadas se basan en la aplicación de morteros especiales y en morteros arena-cemento, habiendo resultados más eficaces en los primeros.

Los métodos de reparación han sido analizados abordando una investigación experimental de ensayos de pilares reparados (con pérdidas de dos esquinas, cuatro esquinas y todo el recubrimiento), concluyendo que se observa un efecto de excentricidad inicial en los ensayos, lo cual se evidencia en la mayor deformación de la cara dañada respecto a la no dañada (pilares de dos esquinas).

Además de la investigación con ensayos experimentales también se realizó una modelización matemática, de la cual se obtuvo que el fallo de los pilares reparados desde el origen de carga se produce por la unión entre el concreto y el mortero para niveles incluso por debajo de los obtenidos experimentalmente, esto para geometrías del chaflán de cuarenta y cinco grados.

Con la investigación aportada por Aurrekoetxea se hace razonable emplear materiales de reparación de módulos de elasticidad y resistencia no muy diferentes a las del concreto, ya que se acusa un retraso de deformación en las esquinas reparadas respecto al concreto antiguo del mismo pilar, detectado por los extensómetros óhmicos colocados a media altura de la reparación; este hecho revela una tendencia al deslizamiento relativo entre materiales por la diferencia de la rigidez de los mismos.

Así mismo se puede indicar que se observa que la adherencia entre materiales es mayor en los pilares con pérdida total de recubrimiento respecto de los que lo pierden solo en las esquinas.

Pérez (2010), para su trabajo de fin de Master en la Universidad Politécnica de Madrid España presentó: “ Vida útil residual de Estructuras de Hormigón Armado afectadas por corrosión” con el propósito de ofrecer un enfoque general del fenómeno de corrosión de las armaduras en los distintos tipos de estructuras de concreto armado; para este fin se realizó una descripción del fenómeno explicando sus formas de aparición (corrosión húmeda o seca), así como sus factores desencadenantes (carbonatación, presencia de cloruro), acelerantes y retardantes.

Pérez empleó para el desenvolvimiento de su investigación una observación previa a los viaductos de la Autovía AP-8, Viscaya, España, haciéndoles antes que nada una inspección visual donde se apreciaron fisuras en los dinteles; posteriormente tomó algunas muestras para realizar ensayos posteriores en el laboratorio, así como también ensayos in situ, obteniendo como resultados a tales ensayos que la condición necesaria es la existencia de un gradiente de humedad intermedia o ciclos de humedad/secado en zonas adyacentes a las armaduras para que se manifieste el desarrollo del proceso de corrosión.

El trabajo investigativo de Pérez permite tomar como antecedente para esta investigación de pregrado que la presencia de humedad en la estructura no es necesaria para que se produzcan los procesos de corrosión en armaduras, sino que simultáneamente debe incidir algunos de los siguientes factores o la acción combinada de ellos:

- La carbonatación del concreto.

- Una deficiente calidad del concreto de recubrimiento y/o un insuficiente espesor del mismo.
- La presencia de sustancias agresivas en el concreto (cloruros), bien sea que procedan del exterior o aportadas a la masa del concreto por sus materiales constituyentes.

Bases Teóricas

Manual

Los manuales son textos utilizados como medio para coordinar, registrar datos e información en forma sistémica y organizada. También es el conjunto de orientaciones o instrucciones con el fin de guiar o mejorar la eficacia de las tareas a realizar. Pueden distinguirse los manuales de:

- Organización

Este tipo de manual resume el manejo de una empresa en forma general. Indican la estructura, las funciones y roles que se cumplen en cada área.

-Departamental

Dichos manuales, en cierta forma, legislan el modo en que deben ser llevadas a cabo las actividades realizadas por el personal. Las normas están dirigidas al personal en forma diferencial según el departamento al que se pertenece y el rol que cumple

-Política

Sin ser formalmente reglas en este manual se determinan y regulan la actuación y dirección de una empresa en particular.

-Procedimientos

Este manual determina cada uno de los pasos que deben realizarse para emprender alguna actividad de manera correcta.

Estructura

El conjunto de elementos convenientemente vinculados entre sí que conforman un sistema capaz de resistir la acción de diferentes fuerzas o efectos recibe el nombre de estructura. La finalidad de dichos elementos es soportar y transmitir las cargas de la edificación a sus respectivos apoyos manteniendo el espacio arquitectónico, sin sufrir deformaciones incompatibles. Una estructura debe ser proyectada, construida y mantenida para que, con una seguridad aceptable, sea capaz de soportar todas las acciones que la puedan solicitar durante la construcción y el período de vida útil previsto en el proyecto, mantener su funcionalidad y resistir la agresividad del ambiente.

En las edificaciones, esos elementos que integran la estructura, comúnmente son los cimientos, columnas, vigas, placas, pórticos, muros, etc. Tan importante como la capacidad resistente, es que la estructura tenga buen desempeño a lo largo del tiempo, es decir, que sea durable.

La estructura debe desempeñar la función para la que está destinada con un grado razonable de seguridad y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio. También la estructura debe cumplir con ciertos criterios, requisitos o exigencias básicas como lo son el equilibrio y la estabilidad.

Un cuerpo se encuentra en equilibrio cuando se aplican fuerzas de igual magnitud y dirección a las fuerzas que actúan en dicho cuerpo pero en sentido contrario. El equilibrio se identifica con la garantía de que la edificación no se moverá. Tienen cierto grado de movimiento, pero comparado con las dimensiones del edificio los desplazamientos de éste son tan pequeños que a simple vista parece inmóvil y sin deformación alguna.

Con la estabilidad se trata de mantener o recuperar el estado de equilibrio; se relaciona con el peligro del movimiento inaceptable del edificio en su totalidad.

Por otra parte, la seguridad de una estructura depende del perfecto engranaje entre los que conciben la obra, los fabricantes de los materiales, quienes elaboran la edificación, la inspección, el dueño de la construcción y el respectivo mantenimiento del inmueble.

Los elementos pueden transmitir cuatro tipos fundamentales de cargas y se clasifican en: tensores, los cuales transmiten cargas de tensión; columnas, que transmiten cargas de compresión; vigas, que transmiten cargas transversales y por último ejes o flechas, que transmiten cargas de torsión.

Usualmente, cuando los miembros están sometidos a la acción de cargas combinadas, una de ellas es más importante y gobierna el diseño; por

tanto, los elementos estructurales pueden clasificarse y estudiarse de acuerdo con sus cargas predominantes

Cuando la reacción se transmite a la estructura, puede introducir en ella solicitaciones importantes, cuando se transfiere al terreno debe ser contrarrestada ya sea por gravedad, mediante un elemento de anclaje cuyo peso equilibre la reacción, ya sea por fricción entre un elemento de anclaje y el terreno.

La estructura se clasificará según su ejecución, permitiéndose establecer los requisitos de ésta y la extensión de la inspección y ensayos, de forma adecuada a la importancia de la estructura, a sus niveles de riesgo y a sus condiciones o características propias de construcción.

Columnas

Constituyen elementos de directriz vertical y generalmente trabajan bajo esfuerzos de compresión. Tienen como función principal transmitirle al terreno las acciones que actúan sobre la estructura a través de sus fundaciones, lo cual las convierte en piezas estructurales de gran importancia.

Pueden presentar variedad de secciones: cuadradas, rectangulares o redondas, todo depende del diseño establecido por el proyectista.

Vida Útil de las Estructuras

Por vida útil se entiende el período de tiempo durante el cual una estructura será capaz de desempeñar las funciones para las que fue

proyectada. En el caso de deterioro de la estructura por corrosión de la armadura, se pueden distinguir por lo menos las siguientes situaciones:

Vida útil de proyecto. Normalmente corresponde al período necesario para que el frente de carbonatación o el frente de cloruros alcancen la armadura.

Por *frente de carbonatación* se entiende la posición de la interfase entre una región carbonatada, de baja alcalinidad por acción del gas carbónico sobre los productos alcalinos de la hidratación del cemento y una región contigua no carbonatada y por consiguiente de alto pH.

Frente de cloruros es la posición de la interfase entre una región contaminada por un cierto nivel de cloruros, suficiente para despasivar la armadura en aquella condición específica y una región contigua donde el nivel de cloruros todavía no alcanza el nivel suficiente para despasivar. Este contenido de cloruros varía en función de varios condicionantes entre el 0,05 y el 1 por ciento del peso del cemento.

El hecho de que el frente de carbonatación o un cierto nivel de cloruros hayan alcanzado la armadura y teóricamente la haya despasivado, no significa necesariamente que a partir de ese momento habrá corrosión importante. Ese período de tiempo, no obstante, es un período que debe ser tomado en cuenta al proyectar la estructura, en aras de la seguridad.

Vida útil de servicio. Un período de tiempo que va desde el momento en que aparecen manchas en la superficie del concreto, u ocurren fisuras en el concreto de recubrimiento, hasta cuando se presenta el desprendimiento del recubrimiento. Este período es muy variable y depende de cada caso en especial, pues ocurre que, en ciertas construcciones, es inadmisibles que la

estructura presente manchas de corrosión o fisuras. En otros casos sólo la caída de pedazos de concreto, que ponga en peligro la integridad de las personas, puede ser considerada el momento a partir del cual se debe considerar cumplida la vida útil de servicio de la estructura.

Vida útil última. Un período de tiempo que va hasta la ruptura o colapso parcial o total de la estructural. Corresponde al lapso de tiempo para el cual habrá una reducción significativa de secciones resistentes de la armadura o una pérdida importante de adherencia concreto-refuerzo, acarreado el colapso parcial o total de la estructura.

Vida útil residual. Corresponde al momento en el que la estructura todavía podrá desempeñar sus funciones, contado en este caso a partir de la fecha de una evaluación. Esta evaluación, y el correspondiente diagnóstico, pueden ser efectuados en cualquier instante de la vida en uso de una estructura. El plazo final, en este caso, puede ser tanto el límite de las condiciones de servicio, como el límite de rotura, dando origen a dos “vidas útiles residuales”; una más corta contada hasta la aparición de manchas de corrosión, fisuras o desprendimientos del concreto y otra, más larga, contada hasta la pérdida significativa de la capacidad resistente del componente estructural o su eventual colapso.

En general el valor de referencia para la vida útil de proyecto, para obras corrientes, puede ser de 50 años. Ciertas obras de mayor importancia social y estructural pueden ser previstas para una vida útil de 100 años o quizá más. Una aplicación práctica de estos conceptos la pueden constituir las figuras 1 y 2, desarrollados dependiendo del espesor del recubrimiento en función del ambiente que rodea la estructura, la calidad del concreto y la vida útil deseada.

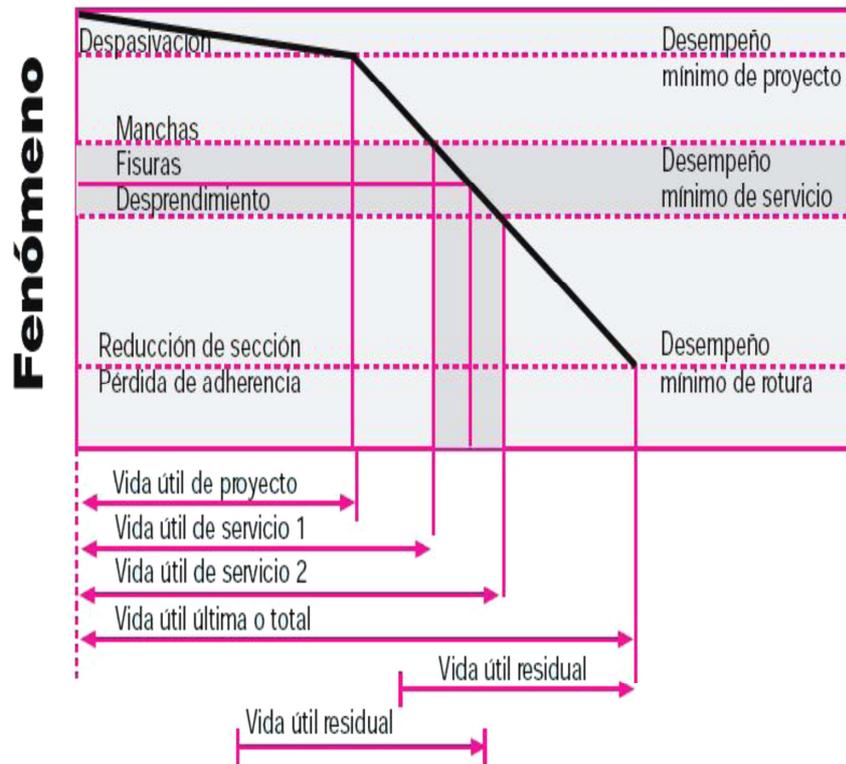


Figura1. Vida útil de las Estructuras de Concreto en función del fenómeno de la corrosión del refuerzo
 Fuentes. Helene, P (2000).

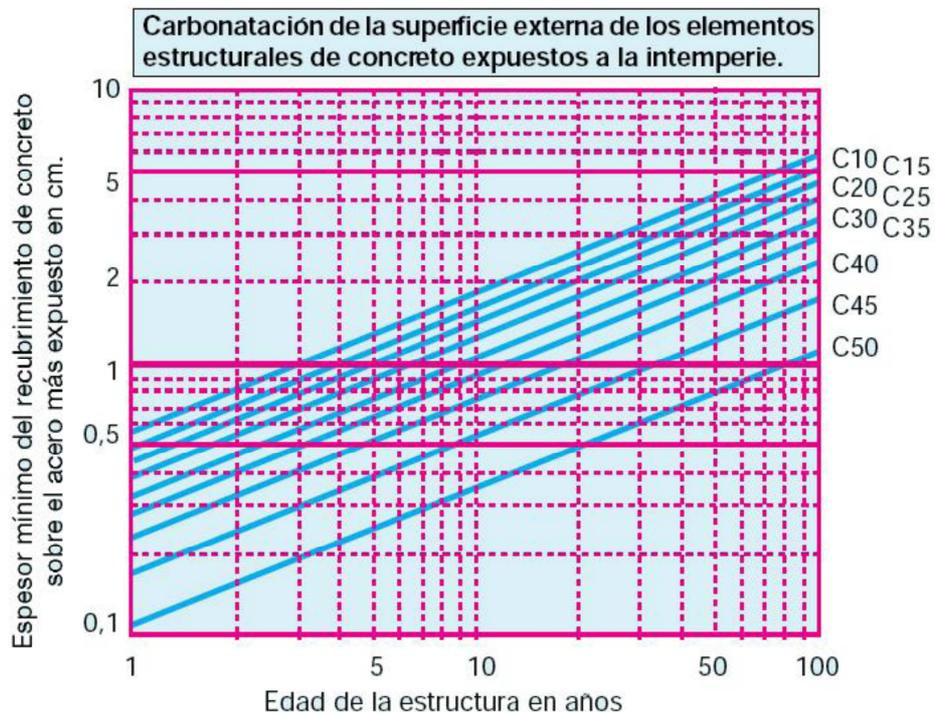


Figura 2. **Abaco para la determinación del espesor de recubrimiento sobre las armaduras en función del ambiente (Zona urbana e Industrial); del concreto (Resistencia entre 10 y 50 Mpa) y de la vida útil deseada de 1 -100 años.**

Fuentes. Helene, P (2003).

La figura 3 presenta los conceptos de vida útil anteriormente expuestos, tomando como base las dos fases principales del proceso de deterioro del concreto reforzado (iniciación y propagación) desde el punto de vista de la corrosión de las armaduras

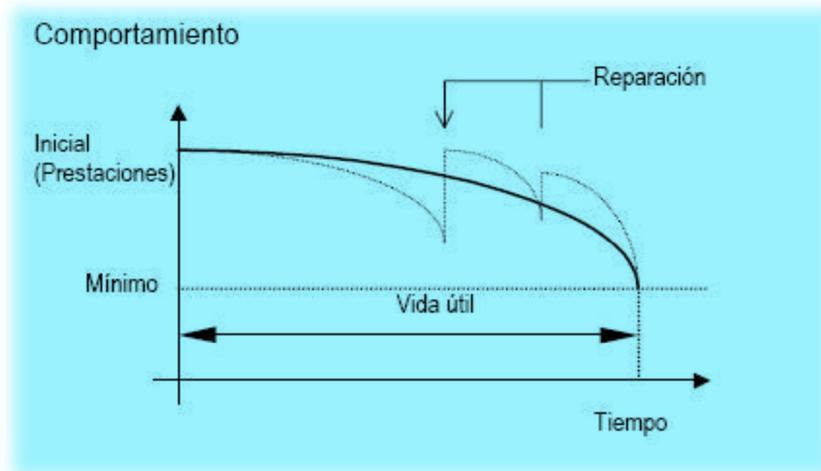


Figura 3. **Vida útil en función de la corrosión de la armadura.**
 Fuentes. Helene, P (2003).

Esfuerzos que influyen sobre las Estructuras

Tracción. Todo cuerpo sometido a un esfuerzo sufre deformaciones por efecto de su aplicación. La tracción produce un alargamiento en el sentido de la actuación de las fuerzas que la provocan. Cuando se trata de cuerpos sólidos, las deformaciones pueden ser permanentes o no: en el primer caso, el cuerpo en cuestión se comporta de forma plástica, de modo que tras el cese del esfuerzo de tracción se mantiene el alargamiento sufrido; en caso contrario se dice que el cuerpo es elástico, de manera que, cuando desaparece el esfuerzo de tracción, aquél recupera su primitiva longitud (en la práctica siempre queda una cierta deformación remanente que en el caso de sólidos elásticos es despreciable).

La presencia de agujeros para remaches o pernos en los miembros sujetos a tensión, reduce el área disponible para resistir las cargas. Por otra parte, las cargas de tensión tienden a mantener recto al elemento.

Son muchos los materiales que se ven sometidos a tracción en los diversos procesos mecánicos. Especial interés tienen los que se utilizan en obras de arquitectura o de ingeniería, tales como la roca, el concreto, el acero, la madera, diversos metales, etc.

Cada material posee cualidades propias que definen su comportamiento ante la tracción. Algunas de ellas son:

- Elasticidad o plasticidad.
- Módulo de elasticidad.
- Ductilidad.
- Fragilidad.

Puede decirse que los materiales de textura pétreo, bien sean naturales o artificiales como el concreto, se comportan mal frente a esfuerzos de tracción, hasta el punto que la resistencia que poseen no se considera en el cálculo. Por el contrario, el acero soporta perfectamente la tracción y se considera uno de los materiales idóneos para ello. El acero en barras corrugadas se suele emplear en conjunción con el concreto para prestarle a éste la capacidad resistente de la que carece.

Compresión. Es un estado de tensión en el cual las partículas se aprietan entre sí. Un elemento sobre el cual se apoya una carga, se halla sometido a una sollicitación a la compresión. En las deformaciones provocadas por la compresión hay un acortamiento en la dirección de la aplicación de la carga y un ensanchamiento perpendicular a esta dirección, esto debido a que la cantidad de masa del cuerpo no varía.

Hay diversos tipos de miembros sujetos a compresión, siendo las columnas el más conocido, sin embargo pueden citarse otros elementos estructurales que también están sujetos a compresión como las cuerdas superiores de las armaduras de cubierta, los patines de compresión de las vigas laminadas, etc.

Las cargas de compresión tienden a pandear los miembros. Se considera que los remaches o pernos llenan los agujeros y el área total queda disponible, cuanto más larga sea la columna para una misma sección transversal, mayor será su tendencia a pandearse y menor será su capacidad de carga.

Corte. Ocurre cuando sobre un elemento o cuerpo se ejerce un esfuerzo transversal que tiende a seccionarlo normalmente. A este tipo de esfuerzo están sometidas las vigas en su apoyo con un pilar o los remaches que sujetan planchas.

Flexión. Se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando la dimensión longitudinal es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra, tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. Cualquier esfuerzo que provoca flexión se denomina momento flector.

Las vigas o arcos son elementos estructurales pensados para que puedan trabajar predominantemente en flexión. Geométricamente son sólidos deformables cuya rigidez depende, entre otras cosas, del momento de inercia de la sección transversal de las vigas.

Torsión. Es la sollicitación que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento constructivo, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos, aunque es posible encontrarla en situaciones diversas.

Concreto

El término concreto también denominado hormigón, es originario del latín *concretus* que significa "crecer unidos" o "unir". Es un material artificial que resulta de la mezcla de uno o más conglomerantes como el cemento, con áridos (grava, gravilla y arena), agua y eventualmente aditivos y adiciones, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia, obteniéndose al final del proceso un material con consistencia pétreo. Los aditivos se utilizan para modificar las características básicas, existiendo una gran variedad de ellos: colorantes, aceleradores y retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, etc.

Existen varios tipos de concreto y se pueden clasificar según su función mecánica, su composición, según su colocación o sistema mecánico utilizado para su puesta en obra y según su contextura o aspecto para lograr un efecto decorativo; sin embargo, debido a la dirección investigativa que tiene el presente trabajo, sólo se explicará detalladamente el Concreto Armado.

Concreto Armado. Es el concreto en cuyo interior hay colocada una armadura de acero, la cual aporta al producto final la capacidad de resistir esfuerzos de flexión y mejorar los de compresión.

Características y Propiedades del Concreto. El concreto posee gran resistencia a la compresión pero poca resistencia a la tracción, se estima que la resistencia a tracción solo alcanza el diez por ciento de la resistencia a compresión. Este hecho dificulta su uso como material en vigas o elementos a flexión. Es necesario combinarlo con acero que tiene alta resistencia a la tensión, dando origen al concreto reforzado y al concreto preesforzado, que introduce esfuerzos de compresión que contrarrestan los esfuerzos de tensión en las secciones donde se presentan.

Cuando se proyecta una estructura de hormigón armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos, y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto.

Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. Incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformar la cimentación.

En las mezclas, las proporciones de los componentes del concreto están controlados por varios requisitos:

- La masa de concreto fresco debe de ser trabajable.
- El concreto endurecido debe poseer la resistencia y durabilidad deseada.

- El costo del producto resultante debe ser el mínimo compatible con calidad deseada.

Entre menos agua se utilice se tendrá una mejor calidad del concreto resultando mezclas más rígidas; que con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas, por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía. Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación.

Después de un suministro adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento. El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones.

Corrosión

Se puede definir como una reacción química entre el metal y alguna sustancia del medio ambiente que lo rodea, dando como resultado la oxidación destructiva del metal en cuestión. Este fenómeno es una de las grandes enfermedades que afecta a las estructuras de concreto armado.

En el ámbito constructivo, la corrosión es interpretada como la oxidación de las barras de refuerzo presentes en el concreto y el correspondiente deterioro de las mismas. El proceso corrosivo se manifiesta en cualquier lugar geográfico; no obstante, existen lugares donde el riesgo es más alto debido a las características específicas del entorno. Venezuela cuenta con una amplia extensión costera, en donde se encuentra distribuida la mayor densidad poblacional además de las principales industrias del país, cuyas estructuras frecuentemente se ven afectadas por este hecho en particular.

El gran número de variables que intervienen en la corrosión generalmente están vinculadas entre sí; como consecuencia de esta situación, se dificulta diagnosticar la causa de los daños y diseñar el plan de intervención y rehabilitación adecuado para reparar cada caso en particular. Es importante recalcar que todas estas evaluaciones debe llevarlas a cabo un especialista.

Bajo ciertas condiciones el acero es inestable en el medio ambiente, tendiendo a volver a su primigenia forma mineral de óxido. Para que eso suceda es necesario que esté en contacto con oxígeno y humedad, en ausencia de cualquiera de los dos factores no se produce corrosión. En ambientes secos naturales, la oxidación es tan leve y lenta que el acero se puede considerar prácticamente estable. En las profundidades marinas donde escasea el oxígeno, sucede algo semejante.

El acero queda protegido dentro del concreto por dos causas principales. Una, es la muy escasa permeabilidad que normalmente tiene el recubrimiento, lo cual limita el acceso del oxígeno y de humedad. La otra es debido a que el ambiente altamente básico con elevado pH que produce la pasta de cemento Portland en la cual está embebido el acero, recubre a este con una delgada película de sales y óxidos que lo protegen. Este mecanismo

de protección es similar al del aluminio en la atmósfera, que en su superficie forma una película de óxido que le sirve de protección, autosellándose en caso de deterioro.

Tipos de Corrosión. De acuerdo con la manera en que se produce la corrosión del acero de refuerzo dentro del concreto y su apariencia, se considera la siguiente clasificación:

- **Corrosión Uniforme.** La corrosión uniforme o generalizada es el resultado de la pérdida sistematizada de la capa pasiva como resultado de la carbonatación y/o la presencia excesiva de iones cloruro. Otra causa que puede desencadenar la corrosión uniforme es la lixiviación de la pasta de cemento que constituye el concreto por la acción de aguas puras o ligeramente ácidas.

- **Corrosión Localizada.** La corrosión localizada se presenta en determinadas áreas de la superficie; ésta clase de corrosión puede deberse al acceso discontinuo del oxígeno en la estructura. Cuando la adherencia entre el acero de refuerzo y los revestimientos epóxicos se deteriora puede presentarse éste tipo de corrosión. Además si hay iones cloruro en el concreto, ellos mismos pueden acumularse en el intersticio que resulta entre el recubrimiento y el acero fomentando la corrosión localizada.

- **Corrosión por Picaduras.** La corrosión por picaduras puede definirse como un tipo de corrosión localizada, en el que la película pasivadora se destruye por alguna heterogeneidad, diferencias en la composición del metal, o el ingreso de iones cloruro. El ataque se manifiesta, como su nombre lo indica, en forma de picaduras estrechas y profundas que

son la consecuencia de una zona anódica que se corroe, mientras el resto del metal está pasivo.

- **Corrosión bajo Esfuerzos.** Para que se produzca corrosión bajo esfuerzos se deben conjugar dos factores fundamentales: esfuerzos de tracción sobre el acero y la presencia de un medio agresivo. Éste fenómeno suele suceder en el concreto preesforzado, en el que se usan aceros de alta resistencia.

Si el acero utilizado es sensible a las fallas de naturaleza frágil, los procesos anódicos muy localizados ocasionan la fisuración del acero por elevadas tensiones permanentes. Mientras se propaga la grieta, tiene lugar el proceso anódico en el interior de la misma provocando un tipo de falla conocida como tensión fisurante.

Otra modalidad de este tipo de falla puede ser consecuencia de un proceso catódico, en el cual bajo ciertas circunstancias se forman átomos de hidrógeno que pueden penetrar dentro del acero. La conversión de estos átomos en hidrógeno molecular dentro del acero, produce elevadas tensiones internas y por ello se presentan fisuras. Este proceso de falla, es conocido como fragilización del hidrógeno. La despasivación local es la principal fuente de este tipo de corrosión, y no ocurre si la armadura activa está completamente recubierta por concreto sano o lechada de cemento.

- **Corrosión Galvánica.** También conocida como corrosión bimetalica, ocurre cuando existen dos metales diferentes embebidos en el mismo medio electrolítico. El caso más simple tiene su origen cuando en alguna región de la estructura no se forme o se dañe la capa pasivadora. Esta zona, actuará como un ánodo ante el resto del

material donde permanece la pasivación que para los efectos, actuará como cátodo. Este tipo de corrosión, también puede presentarse cuando las barras más cercanas a la superficie empiezan a corroerse por acción de los cloruros, mientras que las internas permanecen pasivas formando una macrocelda de corrosión.

- **Corrosión Biológica.** Es la corrosión generada por microorganismos de diferentes variedades, los cuales actúan de manera sinérgica. También se conoce como corrosión microbiológica o biocorrosión.

Características de la corrosión en las armaduras del Concreto Armado

El concreto tiene la capacidad de proporcionar a la armadura una doble protección: por una parte es una barrera física que separa a las barras de acero con el medio ambiente y por otra, la capa pasiva formada por la alcalinidad generada por el cemento al hidratarse que lo preserva indefinidamente de cualquier signo de corrosión.

A pesar de esto, es común observar daños como consecuencia de este fenómeno en las estructuras, que se manifiestan a través de fisuras y delaminaciones, haciendo evidente la necesidad de considerar otros criterios para garantizar la durabilidad de las edificaciones.

Es importante señalar que la corrosión electroquímica del acero es el resultado de alguna heterogeneidad en la composición del mismo o bien, de diferencias evidenciadas en el concreto, que es el medio que rodea al acero.

Ahora bien, aún teniendo presente estos dos factores la corrosión normalmente se previene por la formación de esa película de óxido de hierro (capa pasiva) mencionada anteriormente. Pero, cuando las condiciones de servicio cambian y el concreto se altera o penetran sustancias agresivas a través de él se produce la despasivación.

Los daños causados por esta patología pueden manifestarse de diferentes maneras: a través de fisuras en el concreto paralelas a la dirección de los refuerzos, delaminación y/o desprendimientos del recubrimiento. Cuando existe un elevado contenido de humedad, los primeros síntomas de corrosión se presentan por medio de manchas de óxido en la superficie del concreto.

Pérdida de Protección del Acero. En el seno del concreto, la película de protección del acero puede perder efectividad si sucede una drástica disminución del pH, por varias causas entre las que se pueden citar:

- La carbonatación del concreto, proceso muy lento de penetración de anhídrido carbónico atmosférico que, en general, requiere muchos años para hacerse efectivo.
- La penetración en el concreto de algunas sales, en particular aquellas que pueden contener el ión cloruro.
- La formación en zonas cercanas a lo largo de las barras de acero, de pilas electroquímicas capaces de producir suficiente energía como para alterar o romper la película protectora. Estas pilas están siempre presentes en todo inicio de corrosión y mediante ellas se pueden explicar bastante bien muchos efectos del fenómeno. Cualquier diferencia que se produzca entre áreas del concreto en contacto con

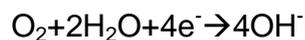
el acero de refuerzo, produce diferencias de tensión eléctrica sobre este. Si la tensión alcanza cierto nivel, aparece la pila.

Según el efecto o efectos, que predominen, aunque no son las únicas, las principales causas de diferencias de potencial que conducen a la aparición de pilas de aireación, de humedad o concentración diferencial, son las diferencias de porosidad, de humedad o de concentración salina respectivamente.

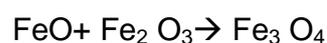
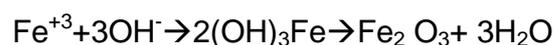
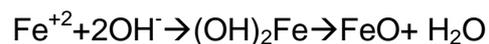
Proceso Químico de la Corrosión. Resumiendo en forma esquemática los procesos químicos, se puede decir que en el punto anódico el acero pasa a forma iónica:



Y los electrones producidos pasan al punto catódico, donde actúan sobre el oxígeno y la humedad para producir iones básicos.



Los productos formados se combinan sobre sí mismos en la parte entre los electrodos, y el hidróxido de hierro pasa a la forma de óxidos, cuyo volumen es mucho mayor que el hierro del cual producen (posiblemente unas 20 veces más) y tienen un gran poder destructor al estar insertados como cuña entre el acero y el concreto



El aspecto de estos óxidos e hidróxidos puede ayudar a establecer las causas primarias del fenómeno. Los puntos que hacen de electrodos crecen y se alteran con el tiempo. Su extensión y proximidad determinan el aspecto que presentará el metal corroído, con picaduras más o menos extensas y profundas, y más o menos entrelazadas.

Cuando hay sales presentes, esta fase del mecanismo de la corrosión se hace más compleja electroquímicamente, pero es esencialmente análoga a la descrita. Los cloruros, al disminuir la capacidad de la película protectora, permiten que las electropilas funcionen con menor tensión, además de su influencia en la formación de pilas de concentración diferencial. Es decir, tienen una acción triple.

En esta primera fase se produce el descascarado y agrietamiento del concreto. Va seguida de otra fase en la que el acero, ya sin protección sufre oxidación directa. En la primera fase la pérdida de sección del acero suele ser pequeña y la capa de oxidación que lo cubre, gruesa. En la segunda fase, se acelera la pérdida de la sección.

Factores desencadenantes de la Corrosión

Desde el punto de vista del ambiente, son condicionantes la humedad relativa y la temperatura así como los gradientes de ellas.

Factores Ambientales:

- *Humedad.* Para favorecer la corrosión debe haber una humedad relativa alta o condiciones ambientales que den lugar a la condensación de humedad por cambios de temperatura. También

favorecen los gradientes de humedad entre partes de las piezas de concreto sumergidas, o unas partes que se mantienen húmedas y otras secas.

- *Temperatura.* Su efecto no está claramente cuantificado, pero se sabe que acelera la reacción si es alta y que potencia las pilas electroquímicas cuando son grandes los gradientes de temperatura dentro de una misma pieza de concreto.

Factores que dependen del Material:

- *Porosidad.* Depende de la relación agua/cemento de la mezcla. En los métodos de diseño de mezcla se suelen incluir tablas que señalan los valores recomendables de la relación agua/cemento, pero también la fluidez de la mezcla y de la calidad de la compactación o vibrado. A mayor porosidad, mayores facilidades para la penetración del oxígeno, de la humedad y de las sales y con ello, mayores posibilidades de corrosión.
- *Defectos.* Los más dañinos son las grietas, juntas mal selladas y macrohuecos. Constituyen posibles fuentes de entrada para los agentes agresivos ambientales, generadores de corrosión.
- *Espesor del recubrimiento.* Una de las medidas más eficientes y duraderas de tipo preventivo contra la corrosión es asegurar que el concreto tenga la estanqueidad necesaria y un espesor de recubrimiento adecuado que sirva de protección a la armadura. Al respecto, la sección 7.2.4 de la Norma COVENIN 1753:2006 establece los recubrimientos mínimos para miembros de concreto vaciados en sitio.

También se establece que en ambientes agresivos deben utilizarse recubrimientos mayores y que dependerán de las condiciones de la exposición del material. Según la Norma 1753: 2006 se considerará:

“En ambientes corrosivos y otras condiciones de exposición muy severas, el recubrimiento de concreto deberá aumentarse adecuadamente y tomar en consideración su compacidad e impermeabilidad o disponer de otras protecciones. Cuando el concreto esté expuesto a acciones de cloruros de origen externo, tales como contacto o rociado de aguas salobres o aguas de mar, el concreto deberá dosificarse para satisfacer los requisitos de exposición a condiciones especiales del artículo 4.3 de esta Norma”

- *Presencia de Sales.* El ión cloruro puede estar presente en la masa de concreto, no proveniente del exterior sino incorporado a la mezcla por alguno de los componentes. Lo más frecuente es que provenga del empleo de arenas salobres o de algún aditivo químico que contenga cloruro de calcio.

El concreto puede tolerar la presencia interna de cloruros en pequeñas proporciones. La magnitud precisa de esas proporciones no se puede establecer como cifra límite, ya que depende de las condiciones agresivas complementarias del medio ambiente y de la calidad del concreto del caso. La proporción total tolerable de cloruros se suele expresar como porcentaje en peso de cloruro de calcio, respecto del cemento de la mezcla. Es frecuente que para un ambiente inocuo y concreto de buena calidad, se especifiquen 2 por ciento como porcentaje máximo permitido.

Sin embargo, hay antecedentes de que en ambientes secos, los concretos con baja relación agua/cemento han podido permanecer estables hasta con 4 por ciento de cloruros y por el contrario, en ambientes húmedos, concretos de no muy alta calidad pueden sufrir corrosión violenta hasta con 0,5 por ciento de cloruros internos.

- *Calidad del Acero de Refuerzo.* Son pequeñas las diferencias de sensibilidad a la corrosión entre los distintos tipos y clases de acero de refuerzo, con excepción de los cables de alta resistencia usados para el concreto precomprimido que son altamente sensibles; bajo tensión esta pueden ser fácilmente seccionados si sufren corrosión. Por esta razón, su protección debe ser mucho más cuidadosa que para las armaduras usuales.

Manifestaciones de Daños en el Concreto

La alta versatilidad del concreto armado, así como su capacidad para adaptarse a diversos medios han hecho suponer que las estructuras realizadas con este material requieren poco mantenimiento.

A pesar de esto, es común observar daños como consecuencia de este fenómeno en las estructuras, que se manifiestan a través de fisuras y delaminaciones, haciendo evidente la necesidad de considerar otros criterios para garantizar la durabilidad de las edificaciones.

La corrosión electroquímica del acero es el resultado de alguna heterogeneidad en la composición del mismo o bien, de diferencias evidenciadas en el concreto, que es el medio que rodea al refuerzo. Ahora

bien, aun teniendo presente estos dos factores la corrosión normalmente se previene por la formación de esa película de óxido de hierro (capa pasiva) mencionada anteriormente. Pero, cuando las condiciones de servicio cambian y el concreto se altera o penetran sustancias agresivas a través de él se produce la despasivación.

Los daños causados por esta patología pueden manifestarse de diferentes maneras: a través de fisuras en el concreto paralelas a la dirección de los refuerzos, delaminación y/o desprendimientos del recubrimiento. Cuando existe un elevado contenido de humedad, los primeros síntomas de corrosión se presentan por medio de manchas de óxido en la superficie del concreto.

Fisuras. Se denomina fisura la separación incompleta entre dos o más partes con o sin espacio entre ellas. Su identificación se realizará según su dirección, ancho y profundidad utilizando los siguientes adjetivos: Longitudinal, Transversal, Vertical, Diagonal y Aleatoria. De acuerdo al ancho de separación pueden ser: Finas (1mm), Medianas (1-2 mm), Anchuras (>2mm).

Entre los tipos de fisuras se tienen:

- *Fisuras a lo largo de cabillas:* Corrosión del acero de refuerzo, falta de recubrimiento, ambiente agresivo.
- *Fisuras entre elementos distintos:* Diferentes dimensiones y ángulos, falta de previsión de juntas.
- *Fisuras entre materiales diferentes:* Coeficiente térmico diferente, absorción diferente de humedad, falta de previsión de juntas.

- *Fisuras estructurales:* Hundimiento del terreno, socavación por agua, movimientos sísmicos, impactos, sobrecargas, retracción, fallas de torsión de vigas, fallas de junta de expansión.
- *Fisuras internas:* En concreto masivo donde el calor de hidratación se acumula en la zona central y se disipa en las zonas exteriores. Una diferencia de 20°C entre una zona y otra.
- *Fisuras superficiales:* Vaciado contra un molde muy liso, falta de curado.
- Fisuras en todas las direcciones de pisos, pavimentos y losas por la acción de agentes químicos.
- *Fisuras en concreto fresco:* Mezcla muy plástica, exceso de finos (arcilla) alta temperatura, sol, viento, falta de curado inmediato.
- *Fisuras diagonales en esquina de losas:* Socavación por agua durante el bombeo por el tránsito, falta de sello en las juntas, sobrecargas, falta de compactación de la base.
- *Fisuras pronunciadas en sentido transversal:* Falta de juntas de retracción, hundimiento de la base, vaciados hechos sobre polietileno.

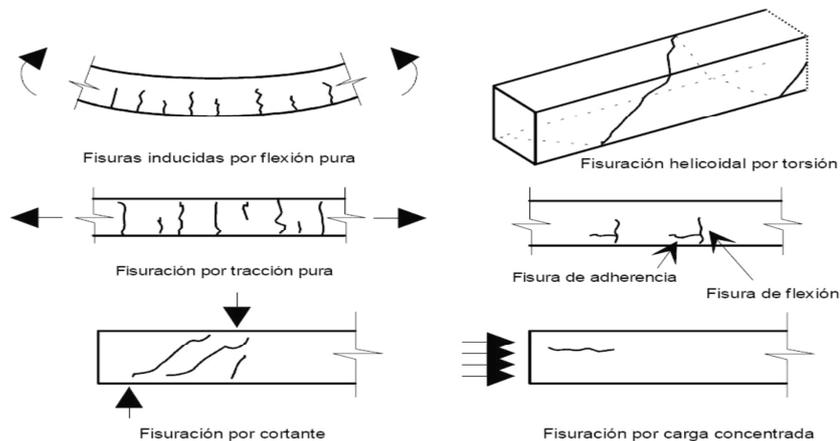


Figura 4. **Fisuras generadas por cargas directas.**

Fuentes. Hernández (1994)

Deterioros. Se denomina deterioro a cualquier cambio adverso de los mecanismos normales, de las propiedades físicas o químicas o ambas en la

superficie o en el interior del elemento generalmente a través de la separación de sus componentes. Los deterioros pueden ser por: Desintegración, Distorsión, Eflorescencia, Exudación, Incrustaciones, Picaduras, Cráteres, Escamas, Estalactita, Estalagmita, Polvo, y Goteras. (Instituto del Concreto Asocreto).

- *Desintegración.* Se refleja en pequeños fragmentos o partículas por causa de algún deterioro.
- *Distorsión.* Cualquier deformación anormal de su forma original.
- *Eflorescencia.* Deposito de sales, usualmente blanca que se forma en la superficie.
- *Exudación.* Líquido o material como gel viscoso que brota de los poros, fisura o aberturas en la superficie.
- *Incrustaciones.* Costra o película generalmente dura que se forma en la superficie de concreto o de mampostería.
- *Picaduras.* Desarrollo de cavidades relativamente pequeñas en la superficie debido a fenómenos tales como la corrosión o cavitación o desintegración localizada.
- *Cráteres.* Salida explosiva de pequeñas porciones de la superficie de concreto debido a presiones.
- *Escamas.* Presencia de escamas cerca de la superficie del concreto o mortero.
- *Estalactita.* Formación hacia debajo de materiales provenientes del interior del concreto.
- *Estalagmita.* Formación hacia arriba de materiales provenientes del interior del concreto.
- *Polvo.* Desarrollo de material de polvo sobre la superficie dura.

- *Goteras*. Humedad causada por las aguas de lluvia bajo la cubierta.

Reparación de daños en el Concreto

La reparación es un conjunto de actuaciones, como demoliciones, saneamientos y aplicación de nuevos materiales, destinado a recuperar el estado constructivo y devolver a la unidad lesionada su funcionalidad arquitectónica original. Sólo comenzaremos el proceso de reparación una vez descrito el proceso patológico, con su origen o causa y la evolución de la lesión.

Si el proceso patológico se ha descubierto a tiempo, bastará la simple aplicación de productos con una misión protectora, pero en algunas ocasiones la reparación implicará la demolición o sustitución total o parcial de la unidad constructiva en la que se encuentra el foco de la lesión.

En cualquier caso la reparación se compone siempre de dos fases claramente diferenciadas: primero se debe actuar sobre la causa o causas origen del proceso, y una vez detectadas y solucionadas éstas, se actuará sobre las lesiones. No se puede invertir el orden de la actuación ni actuar sólo sobre la lesión, porque de este modo la causa seguirá actuando y no podremos evitar que la lesión vuelva a aparecer.

La función básica que debe cumplir la reparación de una estructura dañada por corrosión de armaduras es la de restaurar o devolver la protección de las armaduras y reconstituir el concreto y sus propiedades físicas y estéticas (Feliú y Andrade, 1989).

En el momento de la reparación de una estructura de concreto armado se debe comenzar por realizar un examen visual general de la estructura con la finalidad de hacer un levantamiento de daños. De esta forma se

seleccionarán las zonas para un examen visual detallado de la estructura y prever las técnicas de ensayo, medición y análisis más apropiadas (Troconis *et al.*, 1997).

En la inspección preliminar se debe recoger una serie de datos necesarios de la estructura y del medio. En cuanto a la estructura, se debe obtener información referente a su edad o del tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del concreto, dosificación y resistencia del concreto, diagnóstico y/o reparaciones anteriores. En cuanto al medio, se debe buscar cualquier información que permita caracterizar su agresividad, como: tipo de atmósfera, tipo de agua, naturaleza del terreno, presencia de corrientes de interferencia, presencia de agentes químicos, etc (Troconis *et al.*, 1997).

En el examen visual general de la estructura se debe determinar si el problema se presenta igual en toda la estructura. Para esto se realiza un examen diferenciando por elementos y registrando signos aparentes de corrosión, como: manchas de óxido, fisuras, zonas de desprendimiento del recubrimiento de concreto con o sin exposición de la armadura, degradación del concreto, etc.

Si el caso es sencillo, esta información puede ser suficiente para establecer un diagnóstico y proceder a la reparación. Si el caso es más complejo, puede requerirse la realización de ensayos y/o mediciones, como: determinación de la disminución del diámetro de la armadura, localización de armaduras y medición del espesor de recubrimiento de concreto, determinación de la resistividad eléctrica del concreto, medición de potenciales electroquímicos, determinación de la profundidad de carbonatación y la presencia de iones cloruros en el concreto. Se deben realizar fichas y planos de levantamiento de daños para registrar la

información recogida (Troconis *et al.*, 1997). Para poder seleccionar el mejor sistema para la reparación es importante diagnosticar la causa antes de iniciar cualquier trabajo de rehabilitación (Helene, 1992), es decir, conocer si el daño se ha debido al ataque por cloruros o por carbonatación.

Marco Normativo Técnico

Norma Venezolana “Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural” FONDONORMA 1753:2006 (1^{ra} Revisión)

Capítulo 4 Requisitos de Durabilidad del Concreto

4.1 Alcance

Este capítulo se establece los requisitos de durabilidad del concreto y las medidas de protección contra la acción de agentes externos. Estos requisitos están limitados a los componentes del concreto y sus proporciones de mezcla para alcanzar las exigencias mínimas establecidas en la norma. No se incluyen disposiciones para exposiciones particularmente severas y no trata aspectos relativos a los acabados tipo obra limpia. En la sección 7.2.4 se dan los recubrimientos mínimos del acero de refuerzo.

4.3

4.3.1 Estanqueidad

El concreto destinado a ser estanco debe cumplir con los requerimientos de la tabla 4.3.1. Cuando el concreto estructural esté en contacto o rociado por aguas salobres o aguas de mar se deben satisfacer: (i) los requisitos que se establecen en la Tabla 4.3.1 para la relación agua/cemento o la resistencia del concreto, según se trate de agregado de peso normal o liviano, respectivamente y; (ii) los de la sección 4.2.4 referentes al recubrimiento mínimo

Tabla 4.3.1 Requisitos para condiciones de estanqueidad

CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	CONCRETO CON AGREGADO DE PESO NORMAL O AGREGADO LIVIANO	
	Máxima relación agua/cemento por peso	Mínima resistencia del concreto a compresión $f'c$, kgf/cm ²
Concreto destinado a ser estanco:		
a. Concreto expuesto a agua dulce	0,50	260
b. Concreto expuesto a agua de mar	0,45	300
Para protección contra la corrosión de concreto reforzado en contacto o rociado por aguas salobres o aguas de mar	0,40	350
(1) Cuando el recubrimiento mínimo requerido por la sección 7.2.4 se incrementa 1 cm, la relación agua/cemento puede aumentarse a 0,45 para el concreto de agregado de peso normal, o reducir $f'c$ a 300 kgf/cm ² para los concretos con agregado liviano. Esto último es lo recomendable en zonas sísmicas (Véase la sección 5.2.1)		

4.3.2 Exposición a sulfatos

Cuando el concreto esté expuesto a soluciones que contienen sulfatos, debe cumplir con los requerimientos de la tabla 4.3.2.

El cloruro de calcio no debe usarse como aditivo en concretos expuestos a soluciones con concentraciones de sulfato, severas a muy severas, tal como se establece en la Tabla 4.3.2.

Tabla 4.3.2 Requerimientos para concretos expuestos a soluciones que contienen sulfatos

EXPOSICIÓN A SULFATOS	CONCENTRACIÓN DE SULFATO COMO SO ₄		TIPO DE CEMENTO ⁽¹⁾	CONCRETO CON AGREGADO DE PESO NORMAL	CONCRETO CON AGREGADO LIVIANO
	En suelos, por ciento en peso	En solución, partes por millón (ppm)		Valor máximo de la relación agua/cemento por peso ⁽⁴⁾	Mínima resistencia a la compresión, $f'c$ (kgf/cm ²) ⁽⁴⁾
Despreciable ⁽²⁾	0,00-	0-150	--	--	--
Moderada	0,10-0,20	150-1500	II, IP(Ms) IS(MS)	0,50	260
Severa	0,20-2,00	1500-10000	V	0,45	300
Muy severa	Más de 2,00	Más de 10000	V con puzolana ⁽³⁾	0,45	300

1) IP= Tipo Portland; IS= Tipo I Portland-Escoria; II= Tipo II; V= Tipo V. La designación Ms se emplea en cementos ASTM C595 cuando se trata de exposiciones moderadas a los sulfatos.
 2) Agua de mar
 3) Previamente debe comprobarse, que con este tipo de cemento la puzolana mejora la resistencia a sulfatos mediante ensayos o por comportamiento satisfactorio en servicio
 4) Para estanqueidad o protección contra la corrosión puede requerirse una relación agua cemento menor o una resistencia mayor; véase la Tabla 4.3.1
 5) Cuando además de esta Sección deba satisfacerse la Sección 4.3.1, se empleará el menor valor de la relación agua cemento y el mayor valor de la resistencia mínima.

PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

Para protección contra la corrosión, las concentraciones máximas de ión cloruro (Cl⁻) soluble en agua, contenidas en el concreto, a una edad temprana

de 28 a 42 días, provenientes del agua, los cementos y los aditivos, no deben exceder los límites, en porcentajes por peso de cemento, que se especifiquen en la tabla 4.4. El método para determinar el contenido de ión cloruro soluble en agua debe ser el ASTM C1218 o equivalente.

Tabla 4.4 MÁXIMO CONTENIDO DEL IÓN CLORURO, PARA PROTECCIÓN CONCTRA LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

TIPO DE MIEMBRO	MÁXIMO CONTENIDO DEL IÓN CLORURO (Cl) EN EL CONCRETO, EXPRESADO COMO PORCENTAJE DEL PESO DEL CEMENTO (por ciento)
Concreto reforzado en condiciones de servicio expuesto al ion cloruro.	0,15
Concreto reforzado en condiciones de servicio que esté seco o protegido contra la humedad.	1,00
Otras construcciones de concreto reforzado.	0,30

Norma Técnica FONDONORMA: Concreto. Durabilidad NTF 27:1-004

1 OBJETO

En esta norma se establecen los requisitos que debe tener el concreto como material de construcción para alcanzar durabilidad, frente a las condiciones de exposición al medio ambiente.

Adicionalmente, se presentan indicaciones a seguir durante la construcción de la obra para garantizar que la misma sea satisfactoria durante el tiempo de vida útil pre-establecido, de acuerdo al ambiente de exposición.

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

En esta norma son aplicables los términos y definiciones contenidos en la norma NVF 1753, y los siguientes:

3.1 Durabilidad del concreto capacidad que éste tiene de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas, químicas y electroquímicas durante la vida de servicio de la estructura.

3.2 Vida útil de la estructura período en el cual la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética sin costos inesperados de mantenimiento.

4 ACCIONES DEL MEDIO AMBIENTE

4.1 El tipo de ambiente al que está sometido un elemento estructural viene definido por el conjunto de condiciones físicas, químicas y electroquímicas a las que está expuesto, lo cual que puede llegar a provocar su degradación y/o corrosión del refuerzo, como consecuencia de efectos diferentes a los de las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

4.2 Las condiciones del medio ambiente y los agresivos ambientales, determinados mediante ensayos de campo y/o laboratorio, determinan la clase de exposición. La tabla 1 muestra las diferentes clases de exposición relacionadas directamente con la corrosión del refuerzo y con la degradación del concreto, respectivamente.

4.3 En el caso de estructuras sometidas a ataque químico, la tabla 2 muestra los niveles de agresividad de los diferentes contaminantes que deben considerarse en este tipo de efecto.

5 ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

5.1 Generalidades

Para garantizar la satisfactoria vida en servicio de una obra de concreto, es necesario establecer una estrategia que considere todos los mecanismos posibles de degradación, tomando en cuenta las medidas apropiadas en función de las acciones ambientales sobre cada elemento. Por tanto, es preciso considerar los siguientes aspectos:

- Adecuada concepción estructural.
- Calidad de los materiales (véase norma NVF 1753).
- Detallado correcto del acero de refuerzo (véase norma NVF 1753).
- Diseño de la mezcla de concreto, acorde a las condiciones medio ambientales y de servicio.
- Buenas prácticas de preparación, transporte y colocación de la mezcla de concreto.
- Requisitos específicos para la durabilidad del concreto.
- Curado.
- Inspección competente.
- Otras medidas especiales.

5.2 Concepción Arquitectónica y Estructural

Un adecuado diseño geométrico y estructural ha de contemplar entre otros, los siguientes aspectos:

- la falla de elementos individuales no debe causar el colapso de la estructura (estructura redundante; véase norma NVC 1756).
- Dimensiones, formas y detallado de componentes expuestos que contemplen drenajes adecuados y suficientes para evitar acumulación de agua.

- Diseño de miembros con la menor superficie específica expuesta.
- Minimizar el agrietamiento por contracción de secado del concreto, o por las cargas en tensión durante su colocación.
- Prever el acceso a todos los elementos estructurales a los fines de su inspección y mantenimiento.

5.3 Calidad de los Materiales

5.3.1 La calidad del concreto es fundamental para su durabilidad. La resistencia a la corrosión del acero de refuerzo se alcanza, en principio, por medio de un recubrimiento de concreto con baja permeabilidad (baja porosidad capilar; véase 4.6) cuyo espesor (véase tabla 3) dificulte la difusión de los agresivos y mantenga la pasividad (formación de óxido protector) que éste le provee al acero. Sin embargo, medidas de protección adicionales podrían ser necesarias en condiciones de exposición muy severas.

5.3.2 En función de las clases de exposición a las que se someta el concreto, se deben cumplir las especificaciones indicadas en la tabla 3. En caso de que el tipo de ambiente incluya dos o más clases específicas de exposición, se debe seleccionar el criterio más exigente.

5.3.3 En el caso particular que se utilicen adiciones cementantes en la fabricación del concreto, su proporción se tendrá en cuenta para el diseño de mezcla (contenido de cemento y relación agua/cemento).

5.4 Construcción

Durante la fase de construcción se deben observar buenas prácticas durante las actividades de preparación, transporte y colocación de la mezcla de concreto (véase norma NVF 1753) así como la debida compactación y el curado (véase 5.4.1), particularmente para las mezclas ricas en cemento o con baja relación agua/cemento y así evitar el agrietamiento por retracción plástica y por secado rápido.

5.4.1 Curado

A los efectos de la durabilidad, el concreto debe ser curado en edad temprana. Nota 1. Se recomienda consultar el documento ACI 308 (véase la bibliografía) contentivo de la práctica estándar de la actividad de curado del concreto.

5.5 Inspección y control

Se adoptarán medidas de control de calidad y de inspección que garanticen la durabilidad de la obra de concreto, conformes con esta norma y las especificaciones respectivas de la norma NVF 1753. Es necesario implementar un programa de inspección durante la construcción de la obra, que verifique la calidad de la mezcla diseñada de acuerdo al ambiente de exposición y su colocación, así como un adecuado programa de mantenimiento preventivo que permita obtener la vida en servicio esperada para la estructura.

5.6 Requisitos específicos para la durabilidad del concreto

5.6.1 Porosidad efectiva.

Mediante el método de porosidad efectiva se cuantifica la porosidad capilar del concreto, dicho método está descrito en la norma UNE 83982 citada en las referencias normativas. En la tabla 4 se indican los criterios para su evaluación.

5.6.2 Permeabilidad a cloruros.

Para ambiente marino, otra medida requerida es la de permeabilidad a cloruros, la cual se puede determinar mediante el método de penetración rápida de cloruros, descrito en la norma ASTM C 1202.

5.7 Medidas especiales de protección

En aquellos casos que se requiera, dada la excesiva agresividad del medio ambiente, se pueden aplicar medidas especiales que permitan una protección adicional de la armadura. Se recomienda efectuar una cuidadosa planificación del sistema de protección a utilizar, ya que éste puede inducir efectos secundarios adversos al buen comportamiento de la estructura. Algunas de las medidas de protección son:

- Incrementar el espesor del recubrimiento del concreto sobre la armadura.
 - Uso de refuerzo galvanizado.
 - Protección catódica.
 - Inhibidores de corrosión.
- Aplicación de recubrimientos, especialmente de carácter hidrofóbico.

Tabla 1. Clases de exposición relacionadas con las condiciones ambientales

Clase general de exposición				Descripción
Clase	Subclase	Tipo de proceso	Designación	
No agresiva	Seco	Ninguno	C0	Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones.
Rural / Urbana	Humedad relativa (HR) media a alta y protegidos de la lluvia	Corrosión por carbonatación	C1	Concreto en el interior, sometido a HR mayor a 70% (promedio anual) o a condensaciones frecuentes. Concreto en exteriores, protegido de la lluvia en zonas de HR media anual superior al 70%.
	Humedad media y expuesto a la lluvia		C2	Concreto en exteriores sometido a la acción del ambiente (alta temperatura y agua de la lluvia), en zonas con HR media anual inferior al 70%.
	Humedad alta y expuesto a la lluvia		C3	Concreto en exteriores sometido a la acción del ambiente (alta temperatura y agua de la lluvia), en zonas con HR media anual superior al 70%.
Marina	En zona Sumergida	Corrosión por cloruros	M1	Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente, por debajo del nivel mínimo de bajamar.
	En zona de mareas		M3	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de mareas.
	En zona aérea con distancias de 5 a 500 m a la línea de costa		M4	Elementos exteriores de estructuras en las proximidades de la línea de costa (de 5 a 500 m.)
	En zona aérea con distancias de 0 a 5 m		M5	Elementos de estructuras marinas por encima del nivel de pleamar (salpique) a menos de 5m de la superficie del agua.

... Continuación Tabla 1.

Con cloruros de origen diferente del medio marino	En zona húmeda, raramente seca		CI4	Piscinas y otras estructuras expuestas a escurrimientos directos de aguas salobres
	Zona sometida a ciclos de humedad y secado		CI5	Estructuras afectadas por el escurrimiento, no continuo, de aguas salobres de procesos Industriales.
Ataque químico	Débil	Degradación del concreto	Q2	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del concreto con velocidad lenta. Instalaciones Industriales con sustancias débilmente agresivas. Construcciones en proximidades de áreas Industriales, con agresividad débil. Ver tabla 2.
	Moderado		Q3	Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambiente con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar degradación del concreto con velocidad media de acuerdo a la tabla 2. Estructuras marinas en general. Instalaciones Industriales con sustancias de agresividad media.
	Severo		Q4	Elementos expuestos a degradación severa del concreto. Instalaciones Industriales con sustancias de alta agresividad de acuerdo a la tabla 2. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales.
Desgaste	Moderado a Severo	Daño mecánico	D4 -D5	Abrasión, cavitación. Elementos sometidos a desgaste superficial. Elementos de estructuras hidráulicas en los que la cota piezométrica puede descender por debajo de la presión de vapor de agua. Pilas de puente en cauces muy torrenciales. Elementos de diques, tuberías de alta presión. Tránsito ligero de pavimentos. Tráfico mediano o pesado.
Categorías de corrosividad según ISO 9223: 1 (muy baja), 2 (baja), 3 (media), 4 (alta), 5 (muy alta). Adicionalmente, 0 no corrosivo				
C: Ataque por carbonatación M: Ataque por ambiente marino Q: Ataque químico D: Daño mecánico CI: cloruro diferente a origen marino				

Tabla 3 Valores límites recomendados para la composición y propiedades del concreto

	Sin riesgo de corrosión	Corrosión Inducida por carbonatación		Corrosión Inducida por cloruros								Ambientes químicamente agresivos		
				Provenientes de agua de mar				Origen distinto del agua de mar						
	CO	C0	C1	C2	C3	M1	M3	M4	M5	CL4	CL5	Q2	Q3	Q4
máxima relación a/c	—	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,4	0,45	0,40	0,55	0,50	0,45
contenido mínimo de cemento kg/m ³	—	260	280	280	300	300	340	380	420	380	420	300	340	380
recubrimiento mínimo mm		20	20	30	40	50	50	50	70	50	70	50	50	50
otros requerimientos												Usar ⁽¹⁾ cemento resistente a sulfatos		
(1) Se debe utilizar cemento Portland tipo II y V si la exposición es a un ambiente Q3 y Q4, respectivamente. Existen algunos países donde el cemento tipo I posee un contenido bajo de C ₂ A (< 5 %), lo cual también podría utilizarse.														

Tabla 4 Criterios de Porosidad efectiva para efectos de durabilidad

Criterio de aceptación	Porosidad efectiva (%) determinada según norma UNE 83982
Concreto de buena calidad y compacidad	≤ 10
Concreto de moderada calidad	10 - 15
Concreto de calidad inadecuada	≥ 15

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

Toda vez que se ha formulado el problema de la investigación y delimitado sus objetivos, el Marco Metodológico tiene como fin, el de situar el lenguaje de estudio, los métodos e instrumentos que se plantearon para realizar dicha indagación y de esta manera dar respuesta a la problemática en estudio.

Tipo de Investigación

Dentro de esta perspectiva, la forma y naturaleza de la investigación se encuentra enmarcada bajo la modalidad de proyecto factible, puesto que presenta una solución de modelo factible viable, que permite solventar necesidades de una situación en particular, el Manual de Trabajo Especial de Grado, del Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (2001), lo define como “La propuesta de un modelo funcional viable, o de una solución posible a un problema de tipo práctico, con el objeto de satisfacer necesidades de un ente específico” (p. 29), ya que con este proyecto se pretende desarrollar un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efecto de corrosión.

Así mismo, es de carácter explicativo, ya que el mismo se centra en explicar cómo ocurren los experimentos y en qué condiciones se dan estos, o

porque dos o más variables están relacionadas. Arias (2004) expone que “se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto” (p. 24).

Diseño de la Investigación

La elaboración del proyecto está fundamentada en la investigación no experimental cuantitativa, donde Hernández y otros (2006) aseveran que la investigación consiste en “observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para después analizarlos” (p. 205). Así mismo, en este tipo de estudio los sujetos ya pertenecen a un grupo o nivel determinado de la variable independiente por auto selección.

En este sentido Hernández y otros (2006) considera que: “Los diseños no experimentales se pueden clasificar en transeccionales y longitudinales” (p.186) dependiendo del número de momentos en los cuales se recolectan los datos, es decir su dimensión temporal.

Por consiguiente, esta investigación se considera del tipo transeccional que puede abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores así como diferentes comunidades situación es o eventos y además la recolección de datos se realiza una sola vez. Hernández y Otros (2006).

Proceso Metodológico

Para llevar a cabo la investigación se hace necesario cumplir con una serie de pasos metodológicos, con la finalidad de establecer los mecanismos

para desarrollar la misma, por tanto deben realizar las fases que la constituyen y que se describen a continuación:

Fase I: Diagnóstico de la necesidad de la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de corrosión.

Esta fase cumple con el papel de diagnosticar los requerimientos o necesidades que se presentan para la realización del Manual, de lo que se trata acá es de favorecer en primera instancia el análisis, sus causas y posibles soluciones, para entonces determinar cuáles son sus aplicaciones y puedan generar los mejores resultados.

Para ello se llevó a cabo un cuestionario, el cual se aplicó a la muestra seleccionada, arrojando resultado de cada ítem encuestado. También se realizó unas entrevistas no estructuradas a varios expertos en la materia.

Fase II: Desarrollo del Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efecto de corrosión

Tomando en cuenta, una vez que se dispone de un diseño debidamente documentado, es posible llevar a cabo su desarrollo utilizando las herramientas de trabajo apropiadas, que permitan cumplir con las metas en términos de tiempo y calidad.

Fase III: Análisis de la factibilidad técnica y operativa e institucional del proyecto para la verificación de su viabilidad.

Se establecerá un análisis completo que indicará si el proyecto es factible desde el punto de vista técnico y operacional. Es importante destacar que el análisis de factibilidad del proyecto se inicia en las

investigaciones preliminares basadas en el cuestionario y observación directa.

Población y Muestra

Para la realización del proyecto fue necesario especificar su delimitación, donde se reunieron los datos del mismo, que luego fueron analizados. Es por ello que Tamayo (2000) expresa que “Población es la totalidad del fenómeno a estudiar, en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” (p. 92).

Basándose en dicha afirmación, la población en estudio fue definida por cuarenta y cuatro (44) profesores que conforman el Departamento de Estructura, así mismo, ciento cuarenta y dos (142) alumnos que cursan octavo semestre, (véase Tabla 1). Todos pertenecientes a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo.

Por tanto, de la población es conveniente, por razones prácticas, extraer muestras o partes representativas, según Hernández y otros (2006) “es el subgrupo de la población” (p. 240). La muestra que se tomo para este proyecto fue del tipo probabilística, los referidos autores al respecto afirman que “todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser escogidos y se obtienen definiendo las características de la población y el tamaño de la muestra, por medio de una selección aleatoria o mecánica” (p. 241).

Utilizando el procedimiento de selección del tamaño de la muestra establecido por Hernández y Otros (2006). De acuerdo primeramente con la ecuación 1:

$$n' = \frac{s^2}{v^2} \text{ Ecuación 1 (p.245)}$$

En donde:

n' = Tamaño provisional de la muestra

$s^2=p(1-p)$ = varianza de la muestra

p =probabilidad de ocurrencia del fenómeno (Considerándose 95 por ciento)

$V^2= se^2$ = varianza de la población

se = error muestral (se tomó el 3 por ciento que según Fideas G. Arias oscila entre 1 por ciento y 5 por ciento)

Obteniéndose un tamaño provisional de la muestra de 53 individuos, seguidamente se calcula el tamaño definitivo de la muestra mediante la ecuación 2:

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}} \text{ Ecuación 2 (p.245)}$$

En donde:

N : Tamaño de la población

n : Tamaño de la muestra

Finalmente el tamaño de la muestra establecida de 41 individuos entre estudiantes y profesores.

Tabla 1. *Estratificación de la población*

Estrato	Sujeto
Docentes	44
Alumnos del octavo semestre	142
Total	186

Fuentes: Los autores (2012).

Para estimar la muestra probabilística estratificada, Hernández y otros (2006) establecen un factor de estratificación de la muestra. Esto es:

$$\sum fh = \frac{n}{N}$$

Dicho factor será multiplicado por cada estrato de la población para obtener la muestra definitiva a considerar en la investigación (véase Tabla 2).

Tabla 2. Estratificación Población-Muestra

Estrato	Población	Muestra
Docentes	44	10
Alumnos del octavo semestre	142	31
Total	186	41

Fuentes: Los autores. (2012).

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas de recolección de datos permiten recopilar sistemáticamente información sobre los objetos de estudio, gente, fenómenos y su contexto. La recolección de datos debe ser sistemática, con el fin de obtener resultados concluyentes. Caroline Varkevisser (2011).

A continuación se describen las diferentes técnicas e instrumentos de recolección de datos que fueron empleadas en esta investigación.

Revisión Bibliográfica

Esta técnica, consiste en la búsqueda de información a través de: Libros, catálogos, revistas técnicas, manuales, Internet, documentos digitales, trabajos de grado, entre otros, con la finalidad de precisar los datos e información necesaria del tema en consideración. Para este estudio la técnica de revisión bibliográfica fue de vital importancia, ya que gran parte información recolectada se obtuvo por este medio. Este método se usó para obtener la teoría esencial del funcionamiento de las diversas técnicas a utilizar en el manual.

Entrevistas No Estructuradas

Este instrumento es aquel que no necesita tener por anticipado las palabras precisas de la preguntas, poseen la ventaja de permitir un dialogo más profundo y rico, de presentar los hechos en toda su complejidad, captando no solo las respuestas a los temas elegidos, sino también actitudes valores y formas de pensar. (Diego Carmona, 2008)

Por medio de este instrumento se pudo conocer información fundamental acerca de reparaciones previas realizadas, así como del diagnóstico de patologías en el concreto armado asociadas a la corrosión.

La Encuesta

Esta técnica, tiene la finalidad de interactuar de forma directa con el recurso humano de la institución, para obtener opiniones importantes. La

utilización de esta técnica se materializó a través de un cuestionario, elaborado a fin de recoger la información para la presentación de la investigación. En este caso, se utilizó un cuestionario, de donde a través de este instrumento se pretende diagnosticar la necesidad de la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas sometidas a efectos de Corrosión. Este instrumento está integrado por diez (10) preguntas cerradas con tres alternativas de respuesta (Si, No y No Sabe). (Ver Anexo A)

Validación

Para la validación del instrumento, se utilizó el juicio de expertos, se seleccionaron tres profesionales, especialistas en el área y con amplios conocimientos en instrumentos de investigación. Se facilitó su labor de revisión, mediante la entrega de una síntesis del trabajo, incluidos los objetivos, el cuadro de especificaciones de una guía de observaciones, y los instrumentos respectivos (ver anexo B).

Confiabilidad

La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado en que su aplicación repetida al mismo sujeto u objeto produce resultados iguales.

Con el fin de determinar el nivel de confiabilidad del instrumento de investigación, se llevó a cabo un estudio piloto con cuatro estudiantes de Ingeniería civil del décimo semestre que están involucrados con los estudios de Patología Estructural, para así luego aplicar el método del cálculo de confiabilidad.

Para esta investigación se trabajo con el Método de Medidas de Consistencias Internas, el cual se fundamenta en usar coeficientes que estiman la confiabilidad, en este caso son los coeficientes KR20 y KR21 de Kuder y Richardson.

Hernández y otros (2006) explica que esta técnica se basa en el supuesto de que cada ítem del instrumento constituye una prueba paralela, de modo que cada ítem es tratado como paralelo de todos los demás ítems. Esta práctica sólo es aplicable en aquellos casos en que las respuestas a cada ítem puede calificarse como 1 ó 0 a cada una (correcto - incorrecto, presente – ausente, a favor – en contra, si – no, entre otros). La fórmula para calcular la confiabilidad de un instrumento con n ítems será:

$$r_u = \frac{k}{k-1} \cdot \frac{st^2 \cdot \sum P \cdot q}{st^2}$$

Esta es la fórmula 20 de Kuder_Richardson (KR20)

Donde:

K= número de ítems del instrumento

P= Porcentaje de personas que responde correctamente cada ítem

Q= Porcentaje de personas que responde incorrectamente cada ítem.

St²= Varianza total del instrumento.

Para facilitar el cálculo de la confiabilidad con la técnica Kuder y Richardson es conveniente construir la matriz de puntaje del instrumento, ítem por ítem.

La ventaja de la técnica Kuder – Richardson es que permite calcular la confiabilidad con una sola aplicación del instrumento y no requiere el diseño de pruebas paralela. Sin embargo su limitación reside en que es aplicable solo a instrumento con ítem dicotómicos, es decir, que pueden ser codificado con 1- 0.

Es de hacer mencionar que en el caso de la actual investigación, cuya población está limitada al personal docente y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo; resultan más efectivos los cálculos orientados a determinar la consistencia interna de los ítems empleados en el instrumento. Dado que se trata de un cuestionario de diez (10) ítems, por el cual se utilizo la formula denominada (K R 20). La aplicación de dicha fórmula arrojó un coeficiente de confiabilidad $r = 0.996$, según criterio del experto consultado, se considera una confiabilidad alta, por lo que el instrumento para la recolección de información empleado en esta investigación goza de una confiabilidad casi perfecta.

Análisis de Datos

Según Muños y otros (2001) establecen:

El análisis de los datos es la etapa de búsqueda sistemática y reflexiva de la información obtenida a través de los instrumentos. Implica trabajar los datos, recopilarlos, clasificarlos, organizarlos en unidades manejables, codificarlos, sintetizarlos, reducirlos, buscar regularidades, topologías, tendencias o modelos entre ellos, descubrir que es más importante y que van a aportar a la investigación. (p. 176)

Por medio del análisis de datos, se obtuvo un conocimiento detallado de la información obtenida a través de los distintos instrumentos, empleando

para esto diferentes técnicas como, clasificación, comparaciones, análisis de variables, análisis estadísticos, tablas y gráficos.

La recolección de datos representa la vía o camino a utilizar para llevar a cabo la ejecución del proyecto y así hacer del mismo un proceso veraz, ya que mediante ella se tiene conocimiento del sistema actual y las necesidades existentes, que puedan generar futuras investigaciones.

A fin de presentar la información que se recolectó en la investigación propuesta, se introducen algunas técnicas gráficas para la presentación de los mismos. Éstas están relacionadas, con cuadros estadísticos inferencial o ilustraciones del tipo de distribución de frecuencia como lo son: diagramas circulares, de barras horizontales o de sectores, gráficos de barras, curvas, histogramas, entre otros, que permiten ilustrar los hechos estudiados, atendiendo a las características de los mismos y al conjunto de variables que se analizaran.

La elaboración de las técnicas gráficas que se incorporaron para la presentación de los datos dentro de la investigación fue utilizando la computadora y específicamente el software Excel, el cual ofrece mayores posibilidades en cuanto al diseño y la presentación de resultados.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de Corrosión ha sido creado para proporcionar un compendio bibliográfico respecto a las fallas que pueden presentar las columnas cuando, bajo un ambiente agresivo, presentan daños producto de éste fenómeno y los distintos procedimientos de reparación de estos elementos estructurales.

Fase I: Diagnóstico de la necesidad de la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de corrosión.

Los materiales instructivos, como los manuales, deben cumplir un papel relevante en el contexto donde se utilicen, es por ello que esta fase cumple con el objetivo de diagnosticar los requerimientos o necesidades que se presentan en la elaboración de la propuesta.

Por consiguiente, en este diagnóstico podemos describir varias subfases que sirve de enlace para el mismo, las cuales serán mencionadas a continuación.

Resultado de la Revisión Bibliográfica

A través del estudio bibliográfico se obtuvo la documentación necesaria para comprender las consecuencias de la corrosión en el concreto armado, en especial en las columnas; así como la sintomatología de fallas que permite el diagnóstico de la estructura y los factores desencadenantes del fenómeno corrosivo además de los procedimientos de reparación recomendados.

Ahora bien, esta técnica se desarrollo valiéndose de información recabada en:

- Fuentes bibliográficas
- Manuales de Expertos
- Fuentes electrónicas
- Tesis Doctorales

Resultado Entrevista no Estructurada

Al entrevistar a expertos en patología estructural, miembros de ALCONPAT y profesores de la Universidad Centro-occidental Lisandro Alvarado; y especialistas en corrosión de la Universidad del Zulia, con su delegada en el CYTED (Programa de la Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) en el subprograma XV “Corrosión/ Impacto ambiental sobre materiales” que están involucrados directamente con el estudio y manejo de fallas en el concreto armado debido a éste fenómeno se obtuvo información valiosa para la elaboración de La propuesta. Esta información se basó en:

- Investigaciones realizadas
- Informes patológicos
- Memoria fotográfica

Resultado de la Encuesta

Se aplicó un cuestionario a los estudiantes de octavo semestre y los profesores del Departamento de Estructuras de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo.

Los resultados obtenidos en la aplicación de este instrumento se presentan seguidamente.

Tabla 3. *Análisis Porcentual General*

N°Item	Si (por ciento)	No (por ciento)	No Responde (por ciento)
1	24	76	3
2	71	24	5
3	16	73	11
4	35	65	0
5	14	78	8
6	90	6	4
7	71	25	4
8	100	0	0
9	100	0	0
10	0	100	0

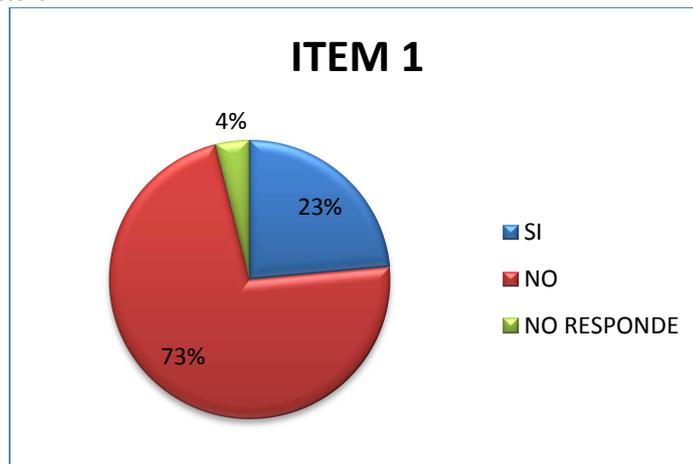
Fuentes: Los autores (2012).

En este cuadro, se puede observar de manera general las frecuencias con la que se dieron las respuestas al instrumento aplicado a la muestra involucrada en el proceso de estudio.

Tabulados los datos, una vez aplicado el instrumento del cuestionario a la muestra censal, y tomando en cuenta los objetivos de la propuesta, se presentan los resultados en diagramas de barra con base a un análisis descriptivo.

Ítem 1: ¿Está usted satisfecho con la cantidad de información suministrada en la carrera de Ingeniería Civil acerca de Patología Estructural?

Gráfica 1. Ítem 1



Fuentes Los autores. (2012).

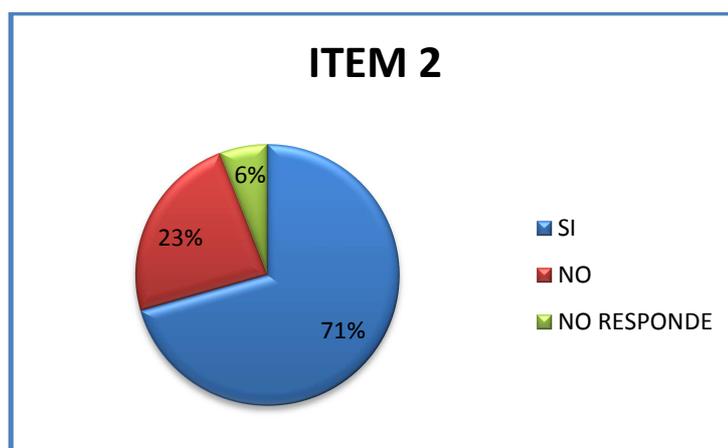
Análisis

Los resultados obtenidos en éste ítem arrojan que el 73 por ciento de los encuestados están insatisfechos con la información suministrada sobre Patología Estructural, solo el 23 por ciento respondió afirmativamente a la

interrogante y el 4 por ciento no respondió. En este sentido se evidencia la necesidad de proporcionar más información al respecto en el desarrollo de la carrera.

Ítem 2. ¿Tiene usted conocimiento de la Norma COVENIN 1753-2006?

Gráfica 2. Item2



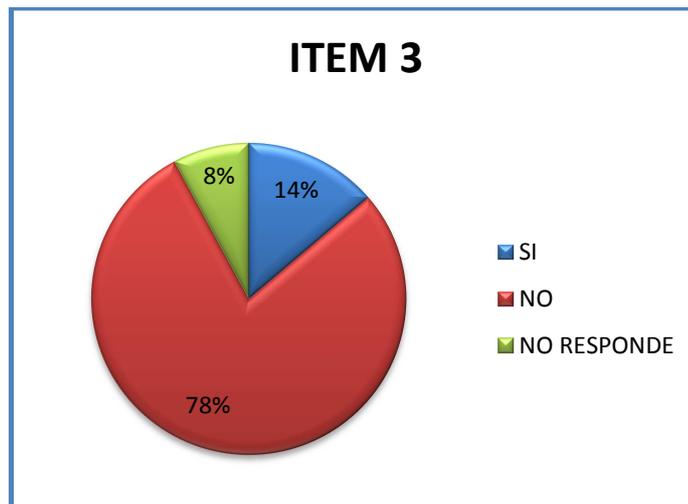
Fuentes Los autores. (2012).

Análisis.

Los resultados permiten inferir que un 71 por ciento de los encuestados conocen la Norma COVENIN 1753:2006, sin embargo hay un 23 por ciento que asegura desconocerla y un 6 por ciento que se abstuvo de responder. Se hace evidente la necesidad de aumentar los esfuerzos para la difusión y conocimiento de esta normativa que rige los proyectos y construcción de obras en concreto estructural.

Ítem 3. ¿Considera que la Norma COVENIN 1753-2006 trata a profundidad la problemática de los efectos de corrosión en las columnas de concreto armado?

Gráfica 3. Ítem 3



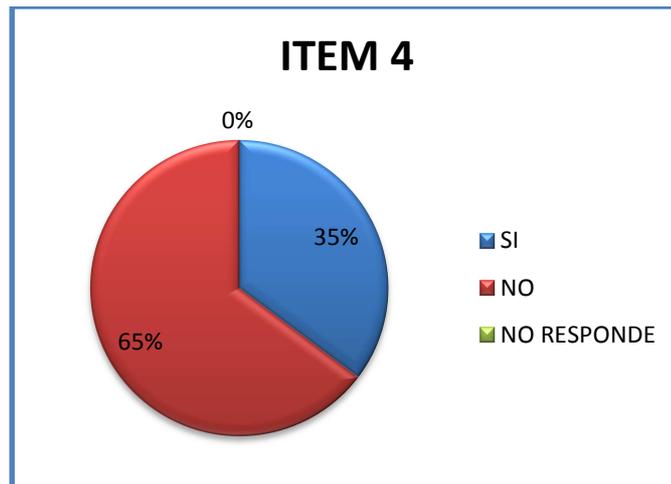
Fuentes Los autores (2012).

Análisis

La mayoría de los encuestados (78 por ciento) manifiesta que la norma COVENIN 1753:2006 no trata a profundidad la problemática de los efectos de corrosión, por lo que se hace necesario proporcionar más información a los profesionales de la ingeniería civil al respecto. Solo el 14 por ciento asegura que los criterios establecidos por esta normativa son suficientes para asegurar la durabilidad de las estructuras y el 8 por ciento no respondió.

Ítem 4. ¿Considera usted que los conocimientos que emplea sobre las Normas Venezolanas para el Proyecto y Construcción de Obras de Concreto Estructural son suficientes para su utilización en su vida profesional?

Gráfica 4. Item 4



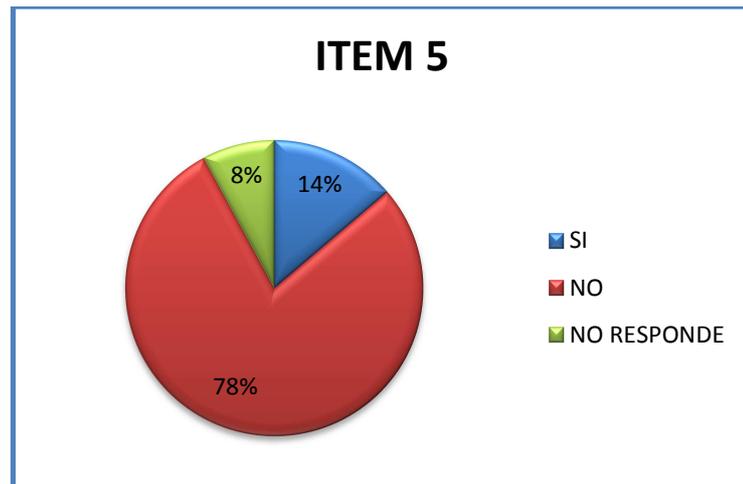
Fuentes Los autores (2012).

Análisis.

La mayoría de los encuestados afirma tener los conocimientos suficientes en cuanto a emplear la Normativa Venezolana, sin embargo, una pequeña porción representada por el 35 por ciento de las personas encuestadas piensa que no posee completamente las nociones necesarias respecto a las normas para aplicarlas en el ámbito profesional.

Ítem 5. ¿Estima usted que el procedimiento para el estudio de la problemática de corrosión en las zonas costeras de Venezuela, ha sido investigado de manera correcta, es decir, bajo normativas?

Gráfica 5. Item 5



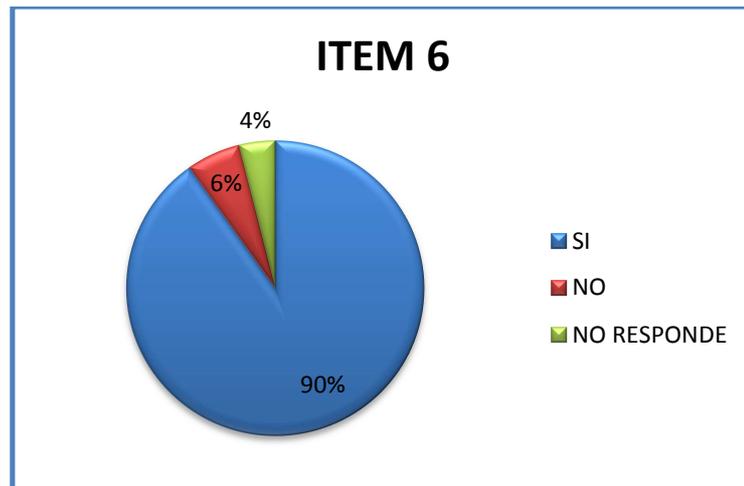
Fuentes Los autores. (2012).

Análisis.

El 78 por ciento de las personas asume que la problemática de la zona costera venezolana en lo que se refiere a corrosión no ha sido estudiada y tratada correctamente siguiendo las normas pertinentes, un 14 por ciento piensa lo contrario y una minoría del 8 por ciento no respondió esta interrogante.

Ítem 6. ¿Cree usted necesario estudiar los efectos de corrosión en las columnas de concreto armado en la carrera de Ingeniería Civil?

Gráfica 6. Item 6



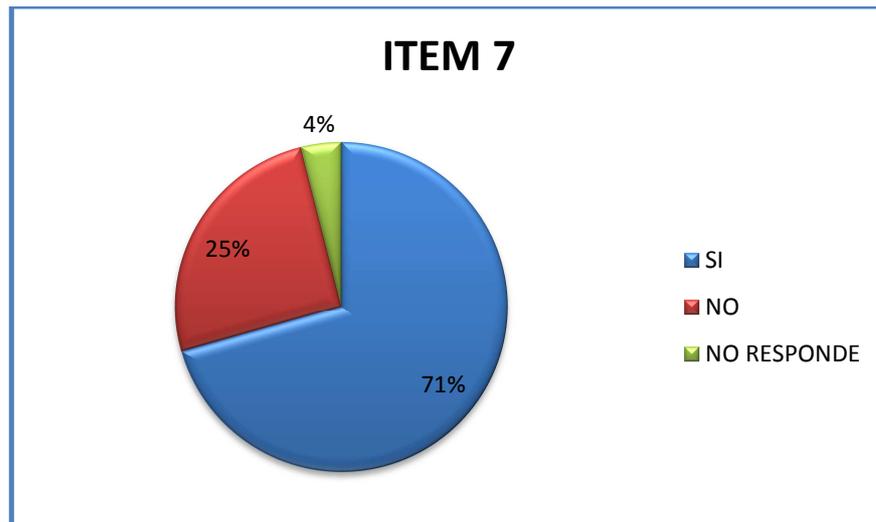
Fuentes Los autores. (2012).

Análisis.

Casi en su totalidad se obtuvo una respuesta afirmativa a esta pregunta, 90 por ciento de los encuestados están de acuerdo con que se impartan conocimientos acerca de los efectos de la corrosión en las columnas de concreto armado durante la carrera de Ingeniería Civil, una pequeña población del 6 por ciento piensa que no es necesario y apenas un 4 por ciento no contestó la pregunta.

Ítem 7. ¿Encuentra usted que en la carrera de Ingeniería Civil se deberían analizar los efectos electroquímicos que ocurren en columnas de concreto armado?

Grafica 7. Item 7



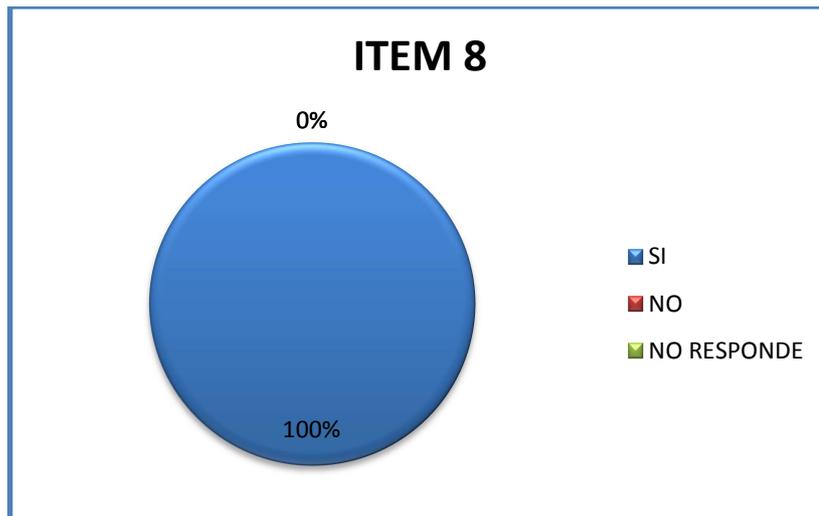
Fuentes Los autores. (2012).

Análisis

Un 71 por ciento de los encuestados considera pertinente analizar los efectos electroquímicos que puede producir un ambiente agresivo en las columnas de concreto armado, un grupo menor representado por el 25 por ciento no está de acuerdo con realizar esta actividad en cuestión y un 4 por ciento prefirió no responder.

Ítem 8. ¿Cree usted oportuno que se debería contar con alguna bibliografía venezolana que tratara los temas de efectos de corrosión en columnas de concreto armado, adaptados a las diversas zonas climáticas de Venezuela?

Gráfica 8. Item 8



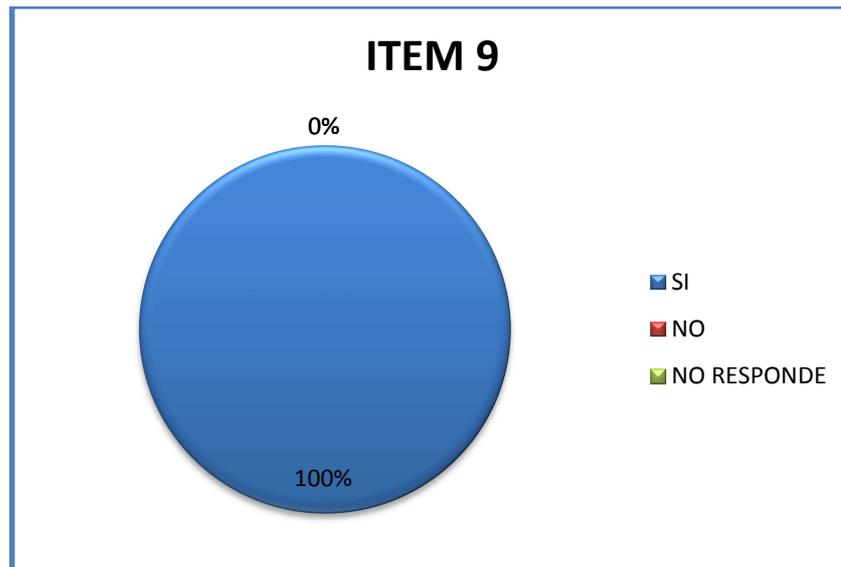
Fuentes Los autores. (2012).

Análisis.

En una totalidad se obtuvo respuesta afirmativa, lo cual permitiría inferir que tanto los alumnos como los profesores encuestados consideran pertinente la elaboración de éste manual como un compendio donde se especifiquen los efectos del fenómeno de la corrosión en las columnas de concreto armado por lo que se justifica plenamente la elaboración del manual propuesto en éste Trabajo de Investigación.

Ítem 9. ¿Usted considera que sería de beneficio para los estudiantes y profesionales de Ingeniería Civil, contar con un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a Efectos de Corrosión?

Gráfica 9. Item 9



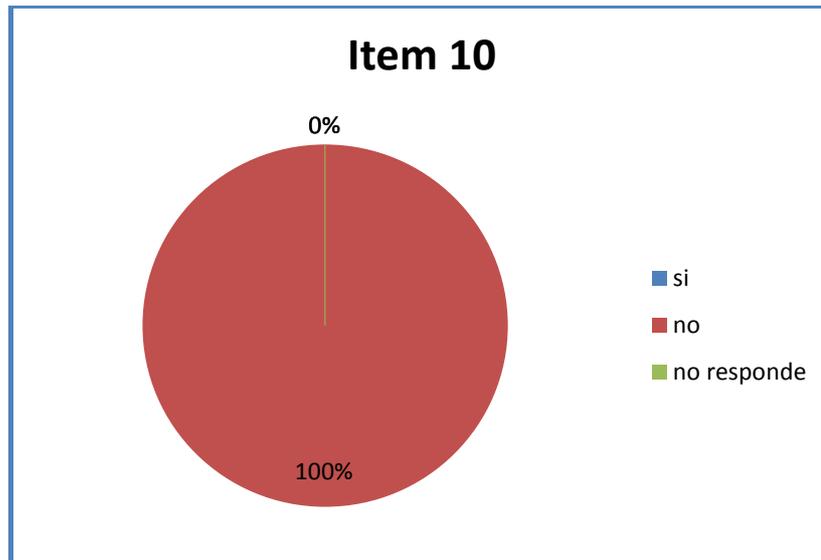
Fuentes Los autores. (2012).

Análisis.

Íntegramente, los entrevistados consideran que la elaboración de un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a Efectos de Corrosión sería de gran provecho para los estudiantes y profesionales de la Ingeniería Civil.

Ítem 10. ¿Conoce Usted la Norma Técnica FONDONORMA “Concreto. Durabilidad” NTF 27:1-004?

Gráfica 10. Ítem 10



Fuentes Los autores. (2012).

Análisis.

Los entrevistados manifestaron desconocer la Norma técnica, que actualmente se encuentra en discusión en el país y que establece los criterios de durabilidad del concreto necesarios para prevenir el daño progresivo de los agentes ambientales en el proceso de corrosión de la estructura.

Fase II: Análisis de la factibilidad técnica y operativa del proyecto para la verificación de su viabilidad.

Factibilidad Técnica

En este sentido se pueden analizar tres tipos de elementos:

1. El desarrollo técnico, a través del cual se trata de adecuar el proceso a los objetivos del proyecto, los cuales son principalmente la propuesta de implementar un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado Sometidas a Efectos de Corrosión
2. El segundo elemento son los requisitos técnicos, el cual se refiere a los elementos indispensables, ya sean de orden material, humano o institucional en la investigación. Para este caso, se trabajo bajo las normativas existentes en el país y adecuado algunos trabajos a la situación existente en la construcción en Venezuela, así como sugerencias de expertos
3. Por último, el rendimiento técnico, donde debe aclararse el resultado y la evaluación, de acuerdo a la técnica específica que se deriva de la naturaleza del proyecto, determina qué resulta la de Patología Estructural.

En relación a estos factores y en el estudio de la Factibilidad técnica de la propuesta se obtuvo:

Beneficiario. El diseño tiene la finalidad de proporcionar una orientación teórico-práctica para la reparación de columnas de concreto armado sometidas a corrosión; a fin de brindar herramientas que contribuyan con la correcta toma de decisiones respecto a la intervención adecuada una vez diagnosticada la falla en el elemento estructural.

Tamaño del Proyecto

Capacidad del Proyecto. El manual propuesto estará en vigencia hasta que ocurra alguna variación en las normativas que rigen éste ámbito que amerite una reformulación en los criterios suministrados en el manual.

Factores condicionantes .Para la puesta en marcha de las estrategias de reparación planteados en el manual debe existir un diagnóstico previo de la estructura realizado por un especialista en el área, además las columnas a reparar deben haber sido diseñadas según los criterios de la Norma COVENIN 1753:2006 y además contar con una armadura que no amerite reforzamiento, es decir, que haya perdido menos del 10 por ciento de su sección a causa de la corrosión.

Factibilidad Operativa

La factibilidad operativa permite predecir si se considerará el manual propuesto, aprovechándose el contenido del mismo. La necesidad de la elaboración de esta bibliografía manifestada en el diagnóstico permite inferir la aceptación de este instrumento que permitirá ser el punto de partida para la correcta elección de los procedimientos de reparación de columnas de concreto armado que presenten fallas producto del fenómeno corrosivo, por lo que es factible operacionalmente.

Con la finalidad de garantizar el pleno entendimiento de la información suministrada en el manual se utilizó un lenguaje sencillo apto para todas aquellas personas, que especialistas o no, tengan la necesidad de buscar orientación respecto a la problemática de estudio.

Fase III Procedimiento para la elaboración del Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de Corrosión

Una vez concluidas las fases del diagnóstico y factibilidad, se procede a la elaboración de La Propuesta sustentada en estos aspectos, lo cual conlleva a la tercera fase del proyecto; para dar cumplimiento a esta etapa se consideran un conjunto de elementos que se especifican a continuación

Descripción de la Propuesta

El Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de corrosión es un material bibliográfico que consta de cuatro capítulos en los que se especifican las causas que ocasionan la corrosión en éstos elementos estructurales, la sintomatología de fallas y las diferentes estrategias de reparación permitiendo ofrecer un criterio teórico que permita intervenir correctamente las columnas en cuestión.

Objetivo General

Desarrollar un manual que ofrezca herramientas para la intervención de columnas de concreto armado sometidas a efectos de corrosión

Objetivos específicos

- Elaborar un compendio teórico con los conceptos fundamentales del fenómeno corrosivo

- Ofrecer estrategias de reparación efectivas para la intervención de columnas de concreto armado con fallas producidas por corrosión

Justificación

El proyecto constituye una alternativa válida ante la necesidad de información en materia de patología estructural, ya que desarrolla de manera clara y sencilla los aspectos fundamentales asociados con la corrosión en las columnas de concreto armado; primeramente sobre los factores que la generan, así como los criterios de durabilidad para evitar éstas fallas y seguidamente los procedimientos a tener en cuenta para reparar una columna y además ejemplos de protocolos de reparación.

Construcción de La Propuesta

La realización del manual se efectuó desde el punto de vista teórico, apoyándose en fuentes bibliográficas y guías de consulta relacionados con el tema de investigación. Tomando en cuenta las bases teóricas tratadas previamente en el segundo capítulo se fundamenta la elaboración de La propuesta; que se apoyó en el diagnóstico obtenido durante el proceso investigativo el cual justifica éste trabajo.

En este sentido La Propuesta está basada en la recopilación de técnicas y herramientas de reparación utilizadas y estudiadas a nivel mundial, cuya efectividad ha podido ser comprobada en estudios experimentales previos que garanticen una verdadera solución al problema planteado.

Estructura de La Propuesta

Esta proposición se realizó acompañada de un modelo de investigación el cual consistió en el análisis sistemático de la información teórica compilada para elaborar el manual de procedimientos adecuados para reparar columnas sometidas a efectos de corrosión fijando la siguiente estructura:

Capítulo I .Generalidades. Comprende los conceptos básicos de corrosión, los principales antecedentes de estudios en la materia y el concreto armado con su respectiva normativa que rige su diseño, elaboración, manejo y colocación en el país.

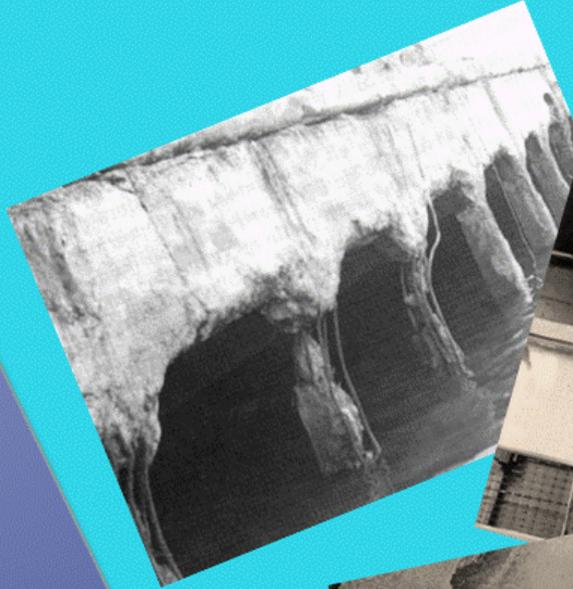
Capítulo II. Corrosión en el Concreto Armado. Especifica las características y síntomas de la corrosión en el concreto armado, tipos y los factores que afectan y desencadenan éste fenómeno. Además cuenta con las medidas preventivas para evitar su aparición y los conceptos de durabilidad de las estructuras.

Capítulo III. Diagnóstico General de las Estructuras. Contiene la metodología para el diagnóstico de fallas en el concreto armado a través de la inspección visual y mediante ensayos de laboratorio que permitan evaluar el estado del concreto y la armadura embebida en él.

Capítulo IV. Orientación de los Sistemas de Intervención. Señala los tipos de intervención, tratamiento y reparación de columnas de concreto afectadas por corrosión, principios de reparación y protección del concreto, esquema de intervención, metodología de reparación de acuerdo al factor desencadenantes y modelos de reparación de columnas

Una vez considerados los elementos que componen La Propuesta y para el cumplimiento de los objetivos propuestos en la Fase III de la investigación; se elaboró el Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de corrosión tomando en consideración los criterios establecidos en la construcción de La Propuesta y la estructura previamente desglosada. Dicho manual se presenta a continuación:

**MANUAL DE REPARACIÓN DE COLUMNAS
SOMETIDAS A EFECTOS DE CORROSIÓN**



-MAGDALENA BOGADO
-MARTHA VILLEGAS



Capítulo I Generalidades

Contenido:

- ◆ Definición: Corrosión
- ◆ Antecedentes de Estudios de Corrosión
- ◆ Concreto Armado
- ◆ Normalización y Concreto Armado en Venezuela
- ◆ Control de Calidad del Concreto y Acero de Refuerzo:
 - Preparación y colocación del Concreto
 - Fraguado, Curado y Evaluación final

Definición

La corrosión de los metales se puede definir como una reacción química entre el metal y alguna sustancia del medio ambiente que lo rodea, dando como resultado la oxidación destructiva del metal en cuestión. Este fenómeno es una de las grandes enfermedades que afecta las estructuras de concreto armado.

En el ámbito constructivo, la corrosión es interpretada como la oxidación de las barras de refuerzo presentes en el concreto y el correspondiente deterioro de las mismas. El proceso corrosivo se manifiesta en cualquier lugar geográfico; no obstante, existen lugares donde el riesgo es más alto debido a las características específicas del entorno.

Venezuela cuenta con una amplia extensión costera, en donde se encuentra distribuida la mayor densidad poblacional además de las principales industrias del país, cuyas estructuras frecuentemente se ven afectadas por este hecho en particular.

El gran número de variables que intervienen en la corrosión generalmente están vinculadas entre sí; como consecuencia de esta situación, se dificulta diagnosticar la causa de los daños y diseñar el plan de intervención y rehabilitación adecuado para reparar cada caso en particular. Es importante recalcar que todas estas evaluaciones debe llevarlas a cabo un especialista.

Antecedentes

En las últimas décadas se han desarrollado investigaciones que han sido publicadas y son las que sirven de fundamento para atender las patologías de corrosión que frecuentemente se presentan en las estructuras.

Según la "Encuesta realizada sobre patología de estructuras de hormigón" realizada por el grupo GEHO (1992) los daños por corrosión en las armaduras de concreto reforzado se encuentran dentro de las tres primeras causas de deterioro en las edificaciones construidas con estos materiales. Por otra parte, Dal Molin (1988) determinó tras el análisis de mil quinientos doce casos de diagnóstico de diferentes patologías, que la incidencia de la corrosión representa el 40% total de los daños.

En el marco de este escenario, el CYTED (Programa de la Ciencia y Tecnología para el Desarrollo), a través del Subprograma XV "Corrosión e Impacto Ambiental sobre los Materiales" ha realizado diversos estudios para unificar criterios acerca del diagnóstico, pronóstico y estrategias de rehabilitación y reparación por medio del conjunto de expertos que integran este programa en más de doce países de Iberoamérica.

Concreto Armado

El concreto, también denominado hormigón, es el material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (grava, gravilla y arena) y agua.

Se define concreto armado como la técnica de utilización de concreto reforzado con barras o mallas de acero, llamadas armaduras. También es posible armarlo con fibras tales como fibras plásticas, fibras de acero o combinaciones de acero con fibras dependiendo de los requerimientos a los que estará sometido.

La principal característica estructural del concreto armado radica en los esfuerzos a los que se ve sometida la estructura; el acero soporta los esfuerzos de tensión, mientras que el concreto resiste los de compresión. Cabe destacar que la resistencia del acero de refuerzo no disminuye con el paso del tiempo ya que el concreto tiende a aumentar a medida que transcurre el fraguado.

Normalización y utilización del concreto armado en Venezuela

En Venezuela la normativa vigente que se aplica a todos los aspectos relativos al proyecto, construcción, supervisión, mantenimiento, evaluación, adecuación o reparación de las estructuras de concreto armado así como de las propiedades y aseguramiento de la calidad de los materiales que lo conforman se denomina: *COVENIN 1753:2006*; que está basada en el *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)* del Instituto Americano del Concreto.

Dentro de las limitaciones de ésta norma se excluye aquellos concretos armados con las siguientes características:

- Pesos unitarios inferiores a 1400 kgf/m³
- Resistencia especificada en compresión mayor a 600 kgf/cm²
- Miembros estructurales expuestos a temperaturas superiores a los 100 °C
- Las estructuras o miembros de concreto pre o postensado
- Los sistemas estructurales constituidos por miembros prefabricados.

Sin embargo, nuestro país no cuenta con un reglamento específico para la rehabilitación y reparación de estructuras de concreto armado afectadas por el fenómeno de la corrosión. En este sentido se toma como referencia fundamental la Norma ACI 546, la cual proporciona herramientas sobre la selección y aplicación de materiales y métodos para la reparación, protección y reforzamiento de estructuras de concreto armado.

Control de Calidad del Concreto y el acero de refuerzo

Para garantizar la durabilidad de las estructuras de concreto armado, de acuerdo a las condiciones bajo las cuales fueron proyectadas, es necesario aplicar ciertos criterios de control de obra previamente normalizados. La calidad del concreto dependerá proporcionalmente a las propiedades de sus componentes, el diseño de mezcla, preparación, manejo y colocación; además de las actividades de uso y mantenimiento a las cuales será sometida la edificación.

En esta perspectiva, la norma COVENIN 1753:2006 establece los requerimientos mínimos de calidad que deben satisfacer los materiales empleados en obras de concreto reforzado; así mismo, como los requisitos constructivos para la dosificación, mezclado, vaciado y calidad del concreto mediante ensayos previos sobre los componentes, observaciones y pruebas sobre el concreto fresco y el concreto endurecido.

Preparación y Colocación del Concreto

Antes de iniciar el diseño de mezcla y posterior vaciado del concreto, es esencial conocer las condiciones de los agregados que van a ser utilizados. El material granular debe cumplir al menos con una de las siguientes normas:

- COVENIN 277-66 "Agregados. Especificaciones para la aceptación o rechazo de agregados para concreto"
- ASTM C330 ó ACI 211.2 para agregados livianos hasta tanto se disponga una norma venezolana en ésta materia

Adicionalmente el cemento debe cumplir con las especificaciones de calidad sugeridas en:

- COVENIN 28-76. *Cemento Portland. Requisitos*
- Norma Venezolana 935-76. *Cemento Portland-Escoria. Requisitos*

Existen principios establecidos para el diseño de mezcla del Concreto Armado, cuya complejidad depende de la calidad y la resistencia necesaria para el proyecto en ejecución, que serán factores preponderantes en la estimación de las proporciones de los componentes del concreto que resulten más adecuados según sea el caso.

El mezclado se realiza en máquinas llamadas mezcladoras, conformadas por rotores que agitan y envuelven los materiales hasta lograr una masa homogénea en estado fluido que se denominada concreto fresco.

En esta fase, la trabajabilidad que se define como el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación es una característica imprescindible que debe ser tomada en cuenta antes de iniciar el vaciado. La forma práctica para estimar ésta trabajabilidad se efectúa a través del Ensayo normalizado del Cono de Abrams, con el cual se estima un asentamiento que se emplea como índice práctico que proporciona una idea sobre la fluidez del concreto fresco.

Seguidamente, el concreto fresco es transportado a los moldes o encofrados previamente preparados y con el acero de refuerzo colocado en su interior, se efectúa entonces el vaciado (también conocido como colado o moldeado) que consiste en verter la masa dentro del encofrado y proceder posteriormente a su compactación.

Esa densificación se efectúa por medios manuales o mediante el vibrado de la masa de concreto. Como consecuencia de la vibración, la mezcla se fluidifica y se acomoda al encofrado, ocupando todos los espacios y rodeando completamente las armaduras metálicas.

Fraguado, Curado y Evaluación final del Concreto

El fraguado es el lapso de tiempo que transcurre desde el mezclado hasta el momento de aparición del atiesamiento, es decir, cuando la pasta de concreto pierde su plasticidad inicial. Debido a la necesidad de conocer el período de tiempo preciso de fraguado se utilizan parámetros empíricos normalizados a nivel mundial. El procedimiento más usual es la aguja de Vicat, ensayo establecido en la Norma COVENIN 493-76 y ASTM C191.

Otro método válido es el uso de un penetrómetro apropiado según las indicaciones de la Norma COVENIN 352-79 y ASTM C191.

Una vez finalizado el fraguado se inicia el curado, cuyo objetivo principal es mantener o reponer la humedad que pudiera perder el material por evaporación de agua que es necesaria para que se desarrollen las reacciones de hidratación del cemento.

El curado se efectúa con la finalidad de mantener un ambiente favorable para la continuación de reacciones químicas necesarias para lograr la resistencia mecánica para la cual el concreto fue diseñado; Es muy importante la realización de éste procedimiento en la fase señalada, ya que es el momento en el que se constituye la estructura interna del concreto que le permite adquirir la resistencia e impermeabilidad deseada.

Las primeras grietas en la estructura pueden aparecer en esta etapa debido a la contracción por secado que es una propiedad inherente e inevitable del concreto. Para evitar la aparición de las fisuras se coloca acero de refuerzo según las especificaciones de la Norma COVENIN 1753:2006 colocado en una posición adecuada para reducir los anchos de grieta o controlar la ubicación de las mismas.

Finalmente, es necesario evaluar la resistencia real a compresión del concreto y compararla con la establecida previamente según los cálculos.

Los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30cm de altura; con muestras obtenidas durante el vaciado a las que se les determinará la resistencia mecánica a compresión.



Capítulo II

Corrosión del acero de refuerzo en el concreto armado

Contenido:

- ◆ Características de la corrosión en la armadura
- ◆ Tipos de corrosión
- ◆ Factores que afectan y desencadenan la corrosión
 - Factores Desencadenantes
 - Factores afectantes
- ◆ Medidas preventivas y de Protección contra la corrosión
- ◆ Vida útil y Vida residual de las estructuras

Características de la corrosión del concreto

La alta versatilidad del concreto armado, así como su capacidad para adaptarse a diversos medios han hecho suponer que las estructuras realizadas con éste material requieren poco mantenimiento.

El concreto tiene la capacidad de proporcionar a la armadura una doble protección: por una parte es una barrera física que separa a las barras de acero con el medio ambiente y por otra, la capa pasiva formada por la alcalinidad generada por el cemento al hidratarse que lo preserva indefinidamente de cualquier signo de corrosión.

A pesar de esto, es común observar daños como consecuencia de éste fenómeno en las estructuras, que se manifiestan a través de fisuras y delaminaciones, haciendo evidente la necesidad de considerar otros criterios para garantizar la durabilidad de las edificaciones.

Es importante señalar que la corrosión electroquímica del acero es el resultado de alguna heterogeneidad en la composición del mismo o bien, de diferencias evidenciadas en el concreto, que es el medio que rodea al acero. Ahora bien, aún teniendo presente estos dos factores la corrosión normalmente se previene por la formación de esa película de óxido de hierro (capa pasiva) mencionada anteriormente. Pero, cuando las condiciones de servicio cambian y el concreto se altera o penetran sustancias agresivas a través de él se produce la despasivación.

Los daños causados por ésta patología pueden manifestarse de diferentes maneras: a través de fisuras en el concreto paralelas a la dirección de los refuerzos, delaminación y/o desprendimientos del recubrimiento. Cuando existe un elevado contenido de humedad, los primeros síntomas de corrosión se presentan por medio de manchas de óxido en la superficie del concreto.

Tipos de Corrosión

De acuerdo con la manera en que se produce la corrosión del acero de refuerzo dentro del concreto y su apariencia, se considera la siguiente clasificación:

-Corrosión uniforme

La corrosión uniforme o generalizada es el resultado de la pérdida sistematizada de la capa pasiva como resultado de la carbonatación y/o la presencia excesiva de iones cloruro. Otra causa que puede desencadenar la corrosión uniforme es la lixiviación de la pasta de cemento que constituye el concreto por la acción de aguas puras o ligeramente ácidas.

-Corrosión Localizada

La corrosión localizada se presenta en determinadas áreas de la superficie que puede deberse al acceso discontinuo del oxígeno en la estructura.

Cuando la adherencia entre el acero de refuerzo y los revestimientos epóxicos se deteriora puede presentarse éste tipo de corrosión. Además si hay iones cloruro en el concreto, ellos mismos pueden acumularse en el intersticio que resulta entre el recubrimiento y el acero fomentando la corrosión localizada.

-Corrosión por picadura

La corrosión por picaduras puede definirse como un tipo de corrosión localizada, en el que la película pasivadora se destruye por alguna heterogeneidad, diferencias en la composición del metal, o el ingreso de iones cloruro. El ataque se manifiesta, como su nombre lo indica, en forma de picaduras estrechas y profundas que son la consecuencia de una zona anódica que se corroe, mientras el resto del metal está pasivo.

-Corrosión bajo Esfuerzo

Para que se produzca corrosión bajo esfuerzos se deben conjugar dos factores fundamentales: esfuerzos de tracción sobre el acero y la presencia de un medio agresivo. Éste fenómeno suele suceder en el concreto preesforzado, en el que se usan aceros de alta resistencia. Si el acero utilizado es sensible a las fallas de naturaleza frágil, los procesos anódicos muy localizados ocasionan la fisuración del acero por elevadas tensiones permanentes. Mientras se propaga la grieta, tiene lugar el proceso anódico en el interior de la misma provocando un tipo de falla conocida como tensión fisurante bajo tensión.

Otra modalidad de éste tipo de falla puede ser consecuencia de un proceso catódico, en el cual bajo ciertas circunstancias se forman átomos de hidrógeno que pueden penetrar dentro del acero. La conversión de estos átomos en hidrógeno molecular dentro del acero, produce elevadas tensiones internas y por ello se presentan fisuras. Este proceso de falla, es conocido como fragilización del hidrógeno.

La despasivación local es la principal fuente de éste tipo de corrosión, y no ocurre si la armadura activa está completamente recubierta por concreto sano o lechada de cemento.

-Corrosión galvánica

La corrosión galvánica, también conocida como corrosión bimetálica, ocurre cuando existen dos metales diferentes embebidos en el mismo medio electrolítico. El caso más simple tiene su origen cuando en alguna región de la estructura no se forme o se dañe la capa pasivadora. Esta zona, actuará como un ánodo ante el resto del material donde permanece la pasivación que para los efectos, actuará como cátodo.

Este tipo de corrosión, también puede presentarse cuando las barras más cercanas a la superficie empiezan a corroerse por acción de los cloruros, mientras que las internas permanecen pasivas formando una macrocelda de corrosión.

-Corrosión Biológica

Es la corrosión generada por microorganismos de diferentes variedades, los cuales actúan de manera sinérgica. También se conoce como corrosión microbiológica o biocorrosión. Tanto los organismos animales como vegetales pueden llegar a afectar a la superficie de los materiales. Su proceso patológico es fundamentalmente químico, puesto que segregan sustancias que alteran la estructura química del material donde se alojan, pero también afectan al material en su estructura física

Factores que afectan y desencadenan la corrosión

-Factores Desencadenantes

Las causas generales para que inicie la corrosión en las estructuras de concreto armado son dos: a) Presencia de iones cloruro, los cuales pueden encontrarse en la masa de concreto por dos razones: estar contenidos en las materias primas (adiciones, agua, cemento, áridos) o penetren desde el exterior cuando la estructura está ubicada en ambientes marinos y b) pérdida de alcalinidad la cual puede ocurrir debido a la carbonatación del concreto o por lixiviación. (Troconis et al., 1997)

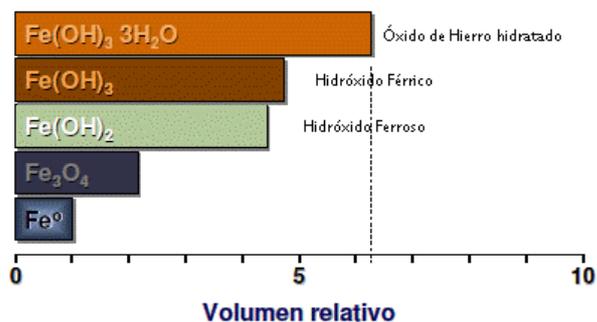
Sin embargo a pesar de que estos factores proporcionan las condiciones necesarias para provocar la corrosión en estado activo, la cinética del ataque depende de otros factores: oxígeno y humedad, que son por sí solos incapaces de producir la corrosión, pero controlan su velocidad cuando las armaduras se corroen en estado activo, acelerando o retardando el proceso. Sin la presencia simultánea de oxígeno y humedad resulta imposible la corrosión electroquímica (Escamilla 2001).

La superación de cierto límite de concentración de cloruros, y la carbonatación del concreto son los factores necesarios o desencadenantes de la corrosión. Otros componentes que por sí solos son incapaces de provocar corrosión pero que controlan la velocidad de las reacciones son la disponibilidad de oxígeno, el grado de humectación, la resistividad y las adiciones en el concreto. Por lo general con el aumento del agua y el oxígeno se incrementa el ataque, mientras que las adiciones lo reducen, a veces sustancialmente (González 1989).

Mientras no se destruya el estado pasivo, la durabilidad de las estructuras está garantizada, porque la eficacia de las películas pasivantes es muy grande. Pero tan pronto como los cloruros o la carbonatación rompen la pasividad, serán los factores condicionantes, la resistividad eléctrica del concreto y la disponibilidad de oxígeno disuelto, los que controlan el desarrollo de la corrosión (González 1987).

Cuando los agentes agresivos causan la corrosión del metal embebido, los compuestos producidos son más voluminosos que el acero y crean fuerzas expansivas que pueden exceder la resistencia a tracción del concreto, pudiendo ocurrir en éste fisuras y delaminaciones y, con ello, la pérdida de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

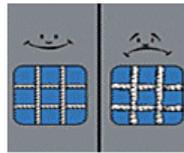
Volumen de Productos de corrosión en el acero



Fuente: Hernández López (2009)

Principales Factores Desencadenantes de la Corrosión

PENETRACIÓN DE IONES CLORURO



Los iones cloruro son aquellos que afectan más directamente a la pasivación del refuerzo, provocando una disolución localizada de la capa pasiva, dando lugar a ataques puntuales (picaduras) que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero en períodos de tiempo relativamente cortos. Penetran a través de los poros del concreto pero sólo si estos están total o parcialmente llenos de agua.

El valor crítico de los iones cloruro para que se dañe la película pasiva depende de muchas variables como: el tipo de cemento, finura del cemento, contenido de yeso y contenido de aluminato tricálcico (Fernández 1994). Generalmente se considera como valor límite permisible en el concreto armado, el valor de 0,4% (Troconis et al. 1997, Rincón et al, 2002; Troconis et al., 2004) de cloruros totales en relación a la masa de cemento.

CARBONATACIÓN (descenso del pH)



La alcalinidad del concreto puede disminuir por la reacción de sus componentes con el CO_2 del ambiente. El dióxido de carbono de la atmósfera penetra a través de los poros del concreto y se disuelve en el agua contenida en ellos (fase acuosa del concreto), reaccionando con los componentes alcalinos presentes y dando lugar a reacciones de neutralización en todo el material. El proceso de carbonatación se caracteriza por la diferencia en el concreto de dos zonas con valores de pH muy diferentes ($\text{pH} > 12$ en el interior y $\text{pH} < 9$ en la superficie) y como consecuencia, las armaduras pasan del estado pasivo al activo.

El concreto es un material muy poroso, el cual permite la penetración en su interior del CO_2 del aire a través de los poros. Cuando esto sucede se produce la reacción del CO_2 con el Hidróxido Cálculo del concreto y de los compuestos hidratados del cemento en equilibrio con dicha fase líquida, formándose carbonato cálcico.

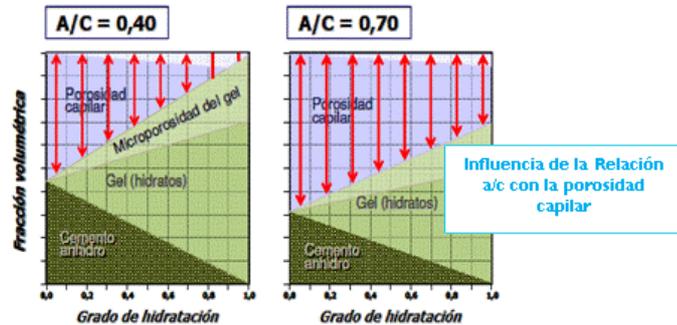
Cuando los compuestos químicos alcalinos presentes en los poros han sido carbonatados, el pH empieza a decrecer y deja de ser un elemento protector de la corrosión de las armaduras. Tan pronto como todo el cemento endurecido ha sido completamente carbonatado, se mide un pH menor de 9.

Factores que Afectan a la corrosión

a.- Dosificación del Concreto

El concreto que envuelve las barras de acero de una armadura, debe cumplir una doble función protectora: a) Como barrera física que se opone a la penetración de los agentes agresivos externos y b) creando una capa pasivante sobre el acero, en virtud de su alcalinidad, que lo mantiene protegido durante un tiempo indefinido. Teniendo en consideración estas dos funciones del concreto de recubrimiento del acero, es determinante dosificarlo por métodos que proporcionen su máxima compacidad, lo que significa garantizar la mínima porosidad.

La relación agua/cemento es el factor más influyente en la porosidad del concreto armado, cuando ésta relación excede de 0,6 la permeabilidad aumenta considerablemente debido al incremento en la porosidad capilar, por lo que se recomienda realizar una mezcla de cemento con poco contenido de agua para que ésta sea más compacta; ocasionando que la cantidad de poros disminuya y existan menos espacio en dónde pueda alojarse la humedad, impidiendo la difusión de iones que puedan iniciar el proceso de corrosión.



b.- Espesor de Recubrimiento

El espesor de la capa de concreto es importante para garantizar la protección de la armadura, dependiendo del ambiente al cual va a estar expuesto. Sin embargo, estructuralmente es recomendable que este espesor sea el mínimo indispensable, ya que por ser una zona desprovista de armadura, pudiera verse afectada por fisuración. En el concreto fisurado, tanto la carbonatación como los cloruros evidentemente tienden a penetrar más de prisa hacia las armaduras. Es importante proporcionar un correcto espesor del recubrimiento para garantizar que ancho de las fisuras no exceda los 0,4mm, en cuyo caso es frecuente observar que se produce un proceso de autocicatrización, como consecuencia de los depósitos cálcicos, de suciedad y de productos derivados de la corrosión que ocasionan que éste fenómeno acabe deteniéndose o reduciéndose significativamente; por lo que esta clase de fisuras terminan considerándose de poca importancia.

Por tal motivo, las normas recomiendan que en ambientes agresivos debe utilizarse una mezcla de calidad con alto contenido de cemento y baja relación agua/cemento, garantizando así que espesores entre 5,0 cm para la superestructura y 7,5 cm para la infraestructura de una obra de concreto armado permitan una alta durabilidad de la estructura.

c.-

Concentración de agentes agresivos

-Cloruros

De los iones despasivantes, son los cloruros los que más afectan directamente la pasivación del refuerzo. Estos provocan una disolución localizada de la capa pasiva dando lugar a ataques puntuales (picaduras) que pueden reducir drásticamente la sección de trabajo del acero, en espacios de tiempo relativamente cortos. Los cloruros pueden encontrarse en la masa de concreto por dos causas: porque lo contengan las materias primas (aditivos, agua, cemento o áridos) o porque penetren desde el exterior al estar sometida a la acción de las sales de deshielo.

-Sulfatos

El ión sulfato puede estar presente en las aguas residuales industriales, en forma de dilución de ácido sulfúrico o en el subsuelo en donde se manifiestan en forma de sales sobretodo en terrenos arcillosos o en sus capas freáticas. La presencia de sulfatos en un agua que está en contacto con cemento incrementa la solubilidad de los componentes de dicha pasta y causar la degradación del concreto por lixiviación.

d.-

Lixiviación por aguas blandas

No solo las sustancias agresivas pueden provocar la degradación del concreto, sino también las aguas puras libres de sales, aguas blandas con pocas impurezas o condensación industrial; así como también aguas de fusión de glaciares, aguas de lluvia, pantanosas blandas y las procedentes de grandes profundidades. Estas aguas blandas agresivas tienden a disolver el calcio de la estructura.

El signo externo del principio de la destrucción del concreto por lixiviación de líquidos agresivos es el desprendimiento de cal, que toma la forma de eflorescencias gradualmente crecientes en la superficie del concreto; en especial en la cercanía de las juntas estructurales, grietas, coqueas así como en la zona de las oscilaciones del nivel de la capa acuífera.

e.-

Compacidad y Homogeneidad

La compacidad del concreto es la propiedad más importante del mismo a los efectos de su resistencia a la penetración de los agentes agresivos externos. Ella es inversamente proporcional a la porosidad y mientras más alta sea la primera, expresa en qué magnitud está protegido el acero de la armadura, minimizando significativamente la carbonatación y el ataque de los cloruros, que son los agentes agresivos más importantes. La compacidad está expresada por la cantidad de materia sólida que está contenida en una unidad cúbica, o es la relación entre el volumen sólido y el volumen aparente total. La compacidad es función, principalmente, de la cantidad y calidad de los materiales y de la adecuada proporción de ellos.

Por otra parte la homogeneidad del concreto es la propiedad por la cual los distintos componentes del mismo aparecen igualmente distribuidos en toda su masa, de manera tal, que al tener homogeneidad la masa de concreto se garantizará la protección de la armadura.

f.-

Medio Ambiente

La presencia de agua es imprescindible para la corrosión en medios neutros y alcalinos, pues interviene en el proceso catódico de reducción de oxígeno y es necesaria para la movilidad de los iones a través del electrolito por lo que la Humedad Ambiental que rodee la estructura afectará el proceso corrosivo. Por otra parte, no es posible que la corrosión se desarrolle sin que llegue una mínima cantidad de oxígeno hasta la armadura, es decir, es necesaria una cierta aireación de las mismas.

g.-

Curado

El curado es uno de los procedimientos o prácticas constructivas, que una vez vaciado el concreto en obra, se deben tener previsto, ya que impide el secado prematura de la pasta de concreto, que podría generar consecuencias tales como reacciones químicas interrumpidas entre el agua y el cemento por falta de medio húmedo que proporciona el agua; además, podría afectar la durabilidad del concreto y específicamente sus características superficiales. Otra de las propiedades de éste es la permeabilidad, que puede provocar su aumento, quedando la superficie del concreto el equivalente a 50 veces más expuesta. El curado se considera tan importante como la relación agua/cemento en el diseño de mezcla. (Pollet Valerie 2000).

Tiempo mínimo de curado en ambientes marinos

Tipo de Cemento	Tiempo de Curado en Días	
	Protegido	No Protegido
Pórtland	7	10
Siderúrgico	10	15
Pulzolánico	20	38

Fuente: Fernández Canovas (1993)

h.-

Coqueras

Las discontinuidades producidas por la formación de coqueras interiores hacen que haya zonas en la armadura sometida a elevada humedad del interior del concreto, pero sin estar en contacto con alcalinidad alguna. Estas zonas se corroen de la misma forma que si estuvieran sometidas a una atmósfera con elevada humedad.

i.-

Fisuras

En general, pueden considerarse las fisuras como el camino más rápido para que los agentes agresivos penetren la estructura y ataquen al acero de refuerzo; su aparición se limita indirectamente a través del recubrimiento, diámetros y espaciamientos de las barras y calidad del concreto, no obstante pueden aparecer en la estructura debido a errores en los procedimientos constructivos y/o efecto de las cargas a la que es sometida la edificación.

Las fisuras de concreto originadas por sollicitaciones mecánicas sobre la estructura se disponen transversalmente a las armaduras principales, puesto que éstas se colocan precisamente para absorber las tensiones de tracción que el concreto no puede soportar. En cambio, las que se manifiestan paralelas a las armaduras son en general, el resultado de un proceso corrosivo ya iniciado. Las fisuras longitudinales pueden aparecer por errores en los procedimientos constructivos como por ejemplo la retracción que ocurre durante el fraguado, estribos de bajo rendimiento o estados de compresión muy elevados, considerándose mucho más agresivas que las transversales debido a que el área del acero de refuerzo expuesto es mayor.

Medidas Preventivas y de Protección contra la Corrosión

Los factores ambientales, y la agresividad del entorno al que será expuesta la edificación determinarán las consideraciones constructivas que deberán emplearse para garantizar la **durabilidad de las estructuras**.

Según Andrade (1984) se definen medidas preventivas como "Cualquier medida implementada durante la fase que conduce a la iniciación de la corrosión, o que evite o retarde el inicio de la misma".

Para mantener la estabilidad del acero de refuerzo se deben considerar tres parámetros fundamentales: 1) homogeneidad del concreto, 2) espesor de recubrimiento adecuado y 3) evitar diseños constructivos que favorezcan la permanencia de agua sobre la superficie del concreto.

Norma
COVENIN
1753:2006

La norma COVENIN 1753:2006 establece la relación máxima de agua/cemento para concretos estructurales en contacto o rociados con agua de mar o aguas salobres es de 0,40 y una resistencia a la compresión mínima de 350 kgf/cm². En ambientes corrosivos u otras condiciones de exposición muy severas el recubrimiento de concreto debe aumentarse adecuadamente y tomar en consideración su compactación e impermeabilidad o disponer de otras protecciones; el espesor del recubrimiento mínimo es de 4cm, cuando este aumenta 1 cm puede considerarse una relación agua/cemento de 0,45 o reducir el f'c a 300 kgf/cm², condiciones igualmente consideradas para concretos expuestos severamente a soluciones que contienen sulfato.

Para determinar el contenido de ión cloruro en el concreto proveniente del agua, cemento y los aditivos se especifica en el ASTM C1218 o su equivalente, considerándose para concreto reforzado en condiciones de servicio expuesto al ión cloruro un máximo de 0,15% y en construcciones de concreto reforzado sin otra particularidad 0,30%.

Medidas Preventivas Complementarias

Engloban un conjunto de medidas adicionales que pueden ser aplicadas directamente al concreto o a sus armaduras, que tienen como objetivo impedir o disminuir la corrosión.

Los revestimientos de concreto, armaduras de material resistente a la corrosión así como los inhibidores de corrosión, extracción de iones cloruro y realcalinización son técnicas consideradas como preventivas complementarias



Aplicación de un Inhibidor de Corrosión a la armadura

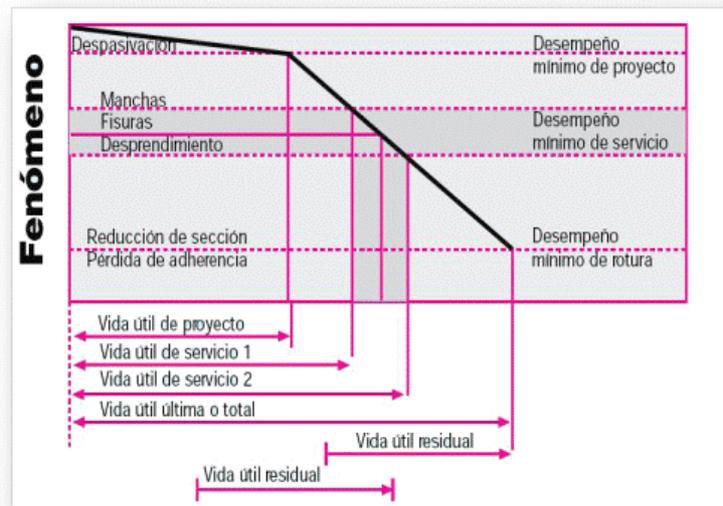
Vida Útil y Vida Residual

Según ASTM E 632-82 la vida útil es el período de tiempo después de la construcción durante el cual todas las propiedades esenciales alcanzan o superan el valor mínimo aceptable con un mantenimiento rutinario. Es decir, el período en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento.

En el caso de deterioro de la estructura por corrosión de la armadura, se puede distinguir por lo menos tres períodos:

- El período de iniciación:** que está asociada a la vida útil del proyecto y culmina cuando comienza la despasivación de la estructura, es decir, el período necesario para que la carbonatación o la acción de los iones cloruro alcance el acero de refuerzo. Sin embargo esto no significa que a partir de este momento habrá una corrosión importante, no obstante, es un período que debe ser tomado en cuenta al proyectar la estructura.
- Vida útil de servicio:** inicia desde el momento en que aparecen manchas en la superficie del concreto, u ocurren fisuras en el concreto hasta que se presenta el desprendimiento del recubrimiento. Es un período muy variable y depende de cada edificación en particular, en el que se considera cumplida la vida útil de servicio de la estructura.
- Vida útil última o total:** esta etapa finaliza con el colapso parcial o total de la estructura. Es el período de tiempo en el que habrá una reducción significativa de secciones resistentes de la armadura o pérdida importante de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo que a la larga producirá el colapso de la estructura.

Vida útil de la Estructura en función al fenómeno corrosivo



Fuente: Do Lago Helene (2009)

Capítulo III

Diagnóstico General de las Estructuras

Contenido:

- ◆ Diagnóstico de Fallas en el Concreto Armado
- ◆ Inspección Visual
 - Clasificación de Daños
- ◆ Ensayos de Laboratorio
 - Análisis Físico-Químico del Concreto
 - Evaluación del Estado de la Armadura
- ◆ Diagnóstico desde el punto de Vista de la Corrosión

Diagnóstico de fallas en el Concreto Armado

Para realizar la correcta reparación de una edificación es necesario partir de una buena evaluación y diagnóstico previo, que garantizará el éxito de la inversión y la efectiva solución a las patologías generadoras de los daños.

No existe sin embargo una metodología única para la evaluación y diagnóstico de las estructuras, puesto que no resulta fácil obtener una única interpretación a las causas de cada uno de los deterioros encontrados; sabiendo que, una misma manifestación de daño puede asociarse a un hecho diferente de acuerdo a la circunstancias que rodean los elementos que componen la edificación.

La inspección de una estructura es una tarea compleja que requiere destrezas y conocimientos sobre los materiales y el comportamiento estructural. La observación y análisis permiten determinar las causas de las manifestaciones de daño que pocas veces se encuentran de manera evidente, sobre todo cuando pueden existir diferentes circunstancias. Por lo tanto, para la realización del Informe patológico es necesaria la presencia en el inmueble de uno o varios profesionales capacitados para tales fines con suficiente idoneidad para evaluar y diagnosticar la naturaleza del daño.

De acuerdo con el alcance que se desee señalar en una investigación, se distinguen los siguientes tipos de inspección:

Inspección Preliminar

A través de esta inspección se puede determinar la naturaleza y origen del problema que afecta a la estructura, así como una idea general del contexto que rodea a la edificación. Contiene información sobre la edad del inmueble, usos y servicios, diagnósticos y/o reparaciones anteriores; así como los datos registrados sobre los agregados utilizados, dosificación, mezclado y colocación del concreto. Incluye también una descripción del medio que rodea la estructura para caracterizar su agresividad y el resultado de un Examen Visual con la especificación de daños encontrados.

En algunos casos se realizan ensayos y/o mediciones en campo durante la inspección preliminar para complementar la información básica obtenida y llegar al diagnóstico. Según el caso se pueden efectuar los siguientes ensayos:

- Determinación de la eventual disminución del diámetro de la armadura
- Localización de armaduras y medición del espesor de recubrimiento de concreto
- Resistividad eléctrica del concreto
- Medición de potenciales electroquímicos
- Profundidad de carbonatación
- Presencia de iones cloruro en el concreto

Inspección Detallada

Se ejecuta una inspección detallada cuando a partir de la inspección preliminar se estima necesario una evaluación más completa a la problemática de la estructura. Primeramente se debe cumplir un plan de trabajo que debe constar de:

- Evaluación de la información básica obtenida en la inspección visual general efectuada
- Elaboración de ficha, croquis y/o planos de levantamiento de daños
- Plan de muestreo: La estructura se divide en zonas clasificadas de acuerdo a ciertas características y/o condiciones, representativas dentro del conjunto de la estructura. Luego los puntos de muestreo, serán identificados con cada una de las zonas, de manera que la evaluación detalle cada situación particular
- Selección de técnicas de ensayo, medición y/o análisis apropiado para los daños encontrados y las zonas donde se realizarán
- Planificación de materiales y equipamientos necesarios

Inspección Visual

A través del examen visual se constata la existencia de signos aparentes de corrosión en la estructura, analizando si el problema se presenta por igual en todos los elementos estructurales con características semejantes o son provocados por causas locales.

Las señales que suelen presentarse, ya sea de forma generalizada o localizada son manchas de óxido, fisuras, zonas de desprendimiento del recubrimiento del concreto con o sin exposición de la armadura, degradación del concreto, así como cualquier otra novedad que pueda significar la acción de algún agente externo.

Clasificación de Daños

-Fisura: es la separación incompleta entre dos o más partes con o sin espacio entre ellas. Su identificación se realizará según su dirección, ancho y profundidad utilizando los siguientes adjetivos: longitudinal, transversal, vertical, diagonal, o aleatoria. Se deben utilizar comparadores de fisuras o fisurómetros para medirlas y monitorearlas y se instalarán algunos testigos para definir el actual estado de actividad.

-Deterioros: Se denomina deterioro cualquier cambio adverso de los mecanismos normales, de las propiedades físicas o químicas o ambas en la superficie o en el interior del elemento generalmente a través de la separación de sus componentes. Se distinguen los siguientes tipos:

- Desintegración: Deterioro en pequeños fragmentos o partículas por causa de algún deterioro.
- Distorsión: Cualquier deformación anormal de su forma original.
- Eflorescencia: Depósito de sales, usualmente blancas que se forman en las superficies.
- Exudación: Líquido o material como gel viscoso que brota de los poros, fisuras o aberturas en la superficie.
- Incrustaciones: Costra o película generalmente dura que se forma en la superficie de concreto o de la mampostería.
- Picaduras: Desarrollo de cavidades relativamente pequeñas en la superficie debido a fenómenos tales como la corrosión o cavitación o desintegración localizada.
- Cráteres: Salida explosiva de pequeñas porciones de la superficie de concreto debido a presiones internas en el concreto que permite en la superficie la formación típicamente cónica.
- Escamas: Presencia de escamas cerca de la superficie del concreto o mortero.
- Estalactita: Formación hacia abajo de materiales provenientes del interior del concreto
- Estalagmita: Formación hacia arriba de materiales provenientes del interior del concreto.
- Polvo: Desarrollo de material de polvo sobre la superficie dura.
- Corrosión: Desintegración o deterioro del concreto o del refuerzo por el fenómeno electroquímico de la corrosión.
- Goteras: Humedad causada por las aguas lluvias bajo la cubierta.

EL American Concrete Institute (ACI) presenta una tabla de tipificación de estos daños con su descripción, causas y detalles que debe contener el informe de inspección:

Clasificación simplificada de Daños

Código	Daño	Descripción	Causas	Detalles que deben ser dados por la Inspección
A1	Grietas o Fisuras	Rotura del concreto superficial o profunda	Sobrecargas, contracción, corrosión.	Dirección, ancho, longitud, profundidad.
A2	Red de Grietas	Grietas estrechas y cortas formando una red	Cambio diferencial de volumen de concreto superficial e interno.	Ancho de grietas, tamaño de red y superficie afectada.
B1	Gel de Exudación	Gel viscoso salido de los poros del concreto	Reacción álcali-agregado.	Superficie afectada, cantidad de depósito.
B2	Eflorescencia	Costra blanca en superficie del concreto	La Lixiviación de hidróxidos con o sin formación de carbonatos.	Superficie afectada, cantidad de depósito
B3	Manchas de óxido	de Manchas de color marrón-rojizas	Corrosión de la armadura, del alambre de amarre.	Localización, Intensidad, posible daño asociado.
B4	Manchas de humedad	de Zona superficial del concreto con indicios de humedad	Escurecimiento externo o de interno, condensación.	Superficie afectada.
C1	Protuberancia (Pop-Out)	Daño localizado superficial	Desarrollo de la presión interna local o expansión de las partículas del agregado	Localización, profundidad
C2	Concreto fofo	Sonido hueco al golpe del martillo	Corrosión del acero de refuerzo o cangrejeras	Superficie afectada, grietas asociadas
C3	Delaminación	Fragmento de concreto separado de la masa	Presión interna por corrosión de la armadura, o por una fuerza externa aplicada	Superficie afectada, la profundidad

C4	Interperismo	Desgaste de la superficie del concreto, lavado de pasta de cemento	Acción del medio ambiente que produce desgaste en la superficie.	Superficie afectada, profundidad
D2	Nidos de Abeja (cangrejera)	Vacios entre los agregados gruesos	Falta de homogeneidad durante el vaciado de concreto	Superficie afectada, profundidad, intensidad.
E1	Junta de Construcción	Demarcación en superficie del concreto, porosa o no.	Junta entre dos colados	Localización y posible daño asociado
E2	Junta de dilatación	Línea formada por la unión de dos planos de concreto	Espacio dejado para pequeños movimientos rotatorios	Aberturas, obstrucciones y cualquiera asociado a su deterioro.

Fuente: ACI

LEYENDAS:			
	DELAMINACIÓN ACERO EXPUESTO		MANCHAS DE HUMEDAD
	PARCHEO DE REPARACIÓN		MANCHAS DE ÓXIDO
	GRIETA		HORMIGÓN FOFO
	CANGREJERA		PROTUBERANCIA CON ACERO EXPUESTO
	NÚCLEO EXTRAIDO		LIXIVIACIÓN
	PROTUBERANCIA		INTEMPERISMO

Análisis Físico-Químico del Concreto

Para realizar la mayoría de los ensayos en el concreto se necesita



TOMA DE TESTIGOS

Pueden ser extraídos núcleos, porciones de material en polvo y porciones de concreto

Núcleo

La exigencia dimensional está condicionada con el tipo de ensayo a realizarse (Resistencia a la Compresión, permeabilidad o absorción de agua)



Núcleo de Concreto

Porciones de material en polvo

Se realiza utilizando un berbiquí (Taladro). El diámetro de la broca debe ser elegido teniendo en cuenta la dimensión del agregado grueso.



Taladro de Mano (Berbiquí)

Porciones de concreto

Se utiliza cincel y martillo, es una técnica sencilla que se utiliza principalmente en zonas de la estructura que presente delaminaciones.



Extracción de material con cincel y martillo

Resistividad Eléctrica

Es una propiedad de cada material que depende en gran medida al grado de saturación de los poros, hidratación de la pasta y presencia de sales en fase acuosa. Se mide en Ωm u Ωm .

Criterio de Evaluación

Se ha demostrado como criterio general:

Resistividad Eléctrica	Nivel de Riesgo
$>200\text{k}\Omega\text{.cm}$	Poco
$(200-10)\text{k}\Omega\text{.cm}$	Moderado
$<10\text{k}\Omega\text{.cm}$	Alto

Fuente: DURAR

Ultrasonido

Permite verificar la homogeneidad del concreto, detectar fallas internas, profundidad de fisuras y otras imperfecciones; así como monitorear las variaciones en la calidad del concreto a lo largo del tiempo debido al ambiente agresivo.

Criterio de Evaluación

Expresa la homogeneidad del concreto como parámetro estadístico a través de la desviación estándar y el coeficiente de variación de las medidas de velocidad de propagación de ondas ultrasónicas en el concreto. Estos parámetros solo pueden ser utilizados en base a concretos similares al que se está ensayando.

Velocidad de Propagación (m/s)	Calidad del Concreto
<2000	Deficiente
2001-3000	Normal
3001-4000	Alta
>4000	Durable

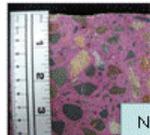
Fuente: ASTM C597-83

Profundidad de carbonatación

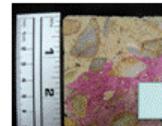
Se determina el avance del frente carbonatado en el concreto por medio de vía húmeda con solución del indicador fenolftaleína generalmente ó timolftaleína.

Criterio de Evaluación

El frente carbonatado se manifiesta incoloro frente a la fenolftaleína, puesto que su pH está por debajo del rango de viraje del indicador. El Concreto en estado pasivo se identifica a través de la coloración violeta que adquiere al aplicar la solución. La profundidad de carbonatación se mide desde la superficie externa hasta que culmina la zona incolora en la muestra.



Nivel de Carbonatación despreciable



Alto nivel de Carbonatación

Concentración de cloruros

Determina la concentración de cloruros totales y libres presentes en el concreto a diferentes niveles de profundidad; permite analizar el estado de la estructura y estimar el tiempo en el que ión cloruro alcanzará la armadura

Criterio de Evaluación

Este ensayo proporciona una idea del grado de contaminación de la estructura. Se considera como valor límite en concreto armado de **0,4%** y en concreto pretensado y postensado **0,2%**.

Cloruro Libre + Cloruros Enlazados = Cloruros Totales

Solubles en agua y de alto riesgo para el acero de refuerzo. Cuando alcanzan niveles críticos producen despasivación

Cloruros combinados a las diferentes fases o compuestos de la pasta de cemento como el Aluminato tricálcico.

Esclerometría

Evalúa la dureza superficial del concreto mediante el uso del esclerómetro de reflexión

Criterio de Evaluación

Se obtiene el Índice Esclerométrico (IE) que es el valor obtenido a través del impacto del esclerómetro de reflexión medido como el número de rebotes del martillo. Si $IE < 20$ no se utilizan los resultados de éste ensayo, de lo contrario los datos obtenidos son comparados con el registro del equipo a través de un análisis estadístico.

Resistencia a la compresión

Propiedad más importante para establecer una evaluación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de la durabilidad como de la resistencia mecánica

Criterio de Evaluación

-Con base al diseño estructural: la resistencia obtenida debe ser mayor o igual a la resistencia de diseño
-Con base a la durabilidad: depende de otros factores como la relación a/c, dosificación, tipo de cemento, espesor de recubrimiento; entre otros. Sin embargo, se acepta que los concretos por debajo de 20Kpa (204kg/cm^2) tienen muy baja durabilidad.

Porosidad

Determina la absorción capilar y la porosidad de morteros y concreto como medida de su compactación. Los poros se dividen en diferentes tipos pero los denominados poros capilares son aquellos que influyen en la permeabilidad del concreto y su vulnerabilidad a los agentes externos, por lo que también se estudia la Absorción capilar

Criterio de Evaluación

-En ambientes severos para recubrimientos de 3cm se recomienda una absorción capilar $\leq 3\text{mm/h}^{1/2}$; cuando se aumenta el recubrimiento se modifica la absorción capilar proporcionalmente

-Respecto a la porosidad:

$\leq 10\%$ Concreto de Buena Calidad

10-15% Moderada calidad

$>15\%$ Durabilidad inadecuada

Evaluación del Estado de la Armadura

Profundidad y localización de la armadura

Se utiliza un pacómetro y define la ubicación del acero de refuerzo embebido en el concreto y la profundidad desde la cara exterior de las varillas de acero.

Evaluación

A través de este ensayo se debe realizar un diagrama esquemático del elemento estructural y la ubicación de sus armaduras, así como su profundidad en cada zona seleccionada

Medición de Potenciales

Mide el potencial de la armadura mediante el uso de electrodos de referencia (Uno de los más utilizados es el Cu/CuSO_4)

Criterio de evaluación

Criterio de valoración de potenciales del acero en el concreto Vs Cu/CuSO_4

Condición	Potencial (E)	Observaciones	Riesgo de Daño
Estado Pasivo	+0.200 a -0.200	Ausencia de Cl^- , $\text{pH} > 12,5$ (\uparrow HR)	Despreciables
Corrosión Localizada	-0.200 a -0.600	Cl^- , O_2 , H_2O , $\text{HR} \uparrow \downarrow$	Alto
Corrosión Uniforme	-0.150 a 0.600	Carbonatado O_2 , H_2O , $\text{HR} \uparrow$	Moderado/ Alto
	0.200 a 0.150	Carbonatado O_2 , seco, $\text{HR} \downarrow$	Bajo
	-0.400 a -0.600	Cl^- elevado, H_2O ó Carbonatado H_2O $\text{HR} \uparrow$	Alto
Corrosión Uniforme	<-0.600	$\text{Cl}^- \uparrow \text{H}_2\text{O} \uparrow$ sin O_2	Despreciable

Fuente: ASTM C-876-87

Velocidad de Corrosión

Mide la velocidad a la cual la armadura pierde sección. Las unidades básicas son $\text{g}/\text{cm}^2\text{día}$ aunque generalmente se utiliza la unidad electroquímica de $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ pudiéndose transformar a partir de la densidad del metal en unidades de penetración $\text{mm}/\text{año}$.



En términos de vida útil:

Velocidad de Corrosión ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Nivel de Corrosión
<0.1	Despreciable
0.1-0.5	Moderado
0.5-1	Elevado
>1	Muy elevado

Fuente: DURAR



Para una mejor interpretación las armaduras que se corroen a $0.1-0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ produciendo óxidos expansivos provocarán la fisuración del recubrimiento entre 10 y 20 años; con valores de $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ la producirán en 1 año

Ensayos más comunes en la evaluación de las estructuras de concreto armado

	Ensayo	Capacidad de Detección	Aplicación	Ventajas	Limitaciones
A R M A D U R A	Medición de Resistividad	Cualitativa	Problemas por presencia de Cl ⁻	-Permite preseleccionar áreas con potencialidad corrosiva -Medida Rápida	-Interpretación compleja de los resultados -Disponibilidad de equipo de medida -Concreto Carbonatado
	Medición de Potenciales	Cualitativa	Cualquier estructura	-Permite preseleccionar áreas con potencialidad corrosiva -Medida rápida	-Interpretación compleja de los resultados
	Medición de Velocidad de corrosión	Cuantitativa	Cualquier estructura	-Permite una vez conocido el tipo de corrosión, evaluar la pérdida de sección e la armadura	-Interpretación depende de disponibilidad del equipo adecuado que permite compensación de la caída óhmica.
C O N C R E T O	Medición de Resistencia a la compresión y volumen de vacíos	cuantitativa	Cualquier estructura	.En conjunto con el volumen de vacíos o relación agua/cemento, evalúa calidad del concreto	Ensayo destructivo
	Definición de profundidad de carbonatación	Cuantitativa	Estructurar de calidad del concreto de baja calidad	Prueba sencilla que permite identificar fácilmente este fenómeno y el tiempo para alcanzar la armadura	Ensayo destructivo
	Perfil de Cloruros	Cuantitativa	Cualquier estructura	Permite determinar la calidad del concreto y el tiempo para que se presente la corrosión del refuerzo	-Ensayo destructivo -Interpretación compleja -Apoyo estadístico

Fuente: DURAR

Capítulo IV

Orientación de los sistemas de Intervención

Contenido:

- ◆ Tipos de Intervención
- ◆ Reparación de Estructuras de concreto armado
- ◆ Tratamiento y Reparación de columnas de concreto armado afectadas por corrosión
- ◆ Principios de Reparación y Protección del Concreto (UNE-EN 1504)
- ◆ Esquema de Intervención
- ◆ Metodología de Reparación por **factor desencadenante**
- ◆ Modelos de reparación de columnas

Tipos de Intervención

En toda intervención estructural, el correcto diagnóstico del estado de la edificación, las fallas identificadas y las causas que las han provocado serán un factor determinante en la elección de una intervención adecuada que permita una verdadera solución ante la problemática presentada

Por las características de los trabajos a realizar y por su incidencia en la estructura, se seleccionará un tipo de intervención que permita cumplir con los objetivos planteados. En general éstas soluciones se resumen de la siguiente manera:

Actuaciones de urgencia

Se realizan de forma rápida, para subsanar lesiones que pueden resultar peligrosas para el uso del edificio o en respuesta a una necesidad urgente desde el punto de vista estructural. Pueden ser de tipo provisional puesto que su principal objetivo es mantener el servicio evitando riesgo a los usuarios mientras se realiza el diagnóstico y se planifica un protocolo de reparación definitiva.

Actuaciones de reparación

Cuando la degradación ha afectado al elemento estructural, se realiza una reparación de la zona afectada para recuperar sus prestaciones iniciales que sea adecuada a sus funciones estructurales. La complejidad e importancia de este tipo de actuaciones puede resultar muy variable, en función de las características del elemento, de su ubicación y de su estado de degradación.

Actuaciones de refuerzo

Si existen errores en el cálculo o ante nuevas solicitaciones que superan las condiciones estructurales iniciales se incorporan nuevos componentes estructurales, mediante sistemas de refuerzo adecuados.

Actuaciones de sustitución

Cuando la actuación de refuerzo no es suficiente ante la problemática se realiza una sustitución, que se puede realizar eliminando físicamente el elemento estructural y sustituirlo por otro nuevo o anulando su función mecánica actual mediante la introducción de nuevos elementos resistentes.

Actuaciones de prevención y/o protección

Se trata de intervenciones que tienen como objetivo dar una protección a los componentes estructurales para evitar o reducir la progresión de su proceso de degradación o protegerlos contra el fuego, atmósferas agresivas, corrosión, desgaste superficial, otros.

Así, se puede actuar protegiendo directamente el elemento estructural, actuando sobre su entorno, limitando las cargas de uso y planteando un seguimiento o control periódico en sus puntos críticos. Las limitaciones en el uso pueden resultar muy útiles para estructuras que no se encuentren en situaciones límite

Reparación de Estructuras de Concreto Armado

La reparación es un conjunto de actuaciones, como demoliciones, saneamientos y aplicación de nuevos materiales, destinado a recuperar el estado constructivo y devolver a la unidad lesionada su funcionalidad arquitectónica original. Sólo comenzaremos el proceso de reparación una vez descrito el proceso patológico, con su origen o causa y la evolución de la lesión.

Si el proceso patológico se ha descubierto a tiempo, bastará la simple aplicación de productos con una misión protectora, pero en algunas ocasiones la reparación implicará la demolición o sustitución total o parcial de la unidad constructiva en la que se encuentra el foco de la lesión.

En cualquier caso la reparación se compone siempre de dos fases claramente diferenciadas: primero se debe actuar sobre la causa o causas origen del proceso, y una vez detectadas y solucionadas éstas, se actuará sobre las lesiones. No se puede invertir el orden de la actuación ni actuar sólo sobre la lesión, porque de este modo la causa seguirá actuando y no podremos evitar que la lesión vuelva a aparecer.

La función básica que debe cumplir la reparación de una estructura dañada por corrosión de armaduras es la de restaurar o devolver la protección de las armaduras y reconstituir el concreto y sus propiedades físicas y estéticas (Feliú y Andrade, 1989).

En el momento de la reparación de una estructura de concreto armado se debe comenzar por realizar un examen visual general de la estructura con la finalidad de hacer un levantamiento de daños. De esta forma se seleccionarán las zonas para un examen visual detallado de la estructura y prever las técnicas de ensayo, medición y análisis más apropiadas (Troconis *et al.*, 1997).

En la inspección preliminar se debe recoger una serie de datos necesarios de la estructura y del medio. En cuanto a la estructura, se debe obtener información referente a su edad o del tiempo en servicio, naturaleza y procedencia de los materiales del concreto, dosificación y resistencia del concreto, diagnóstico y/o reparaciones anteriores. En cuanto al medio, se debe buscar cualquier información que permita caracterizar su agresividad, como: tipo de atmósfera, tipo de agua, naturaleza del terreno, presencia de corrientes de interferencia, presencia de agentes químicos, etc (Troconis *et al.*, 1997).

En el examen visual general de la estructura se debe determinar si el problema se presenta igual en toda la estructura. Para esto se realiza un examen diferenciando por elementos y registrando signos aparentes de corrosión, como: manchas de óxido, fisuras, zonas de desprendimiento del recubrimiento de concreto con o sin exposición de la armadura, degradación del concreto, etc.

Si el caso es sencillo, esta información puede ser suficiente para establecer un diagnóstico y proceder a la reparación. Si el caso es más complejo, puede requerirse la realización de ensayos y/o mediciones, como: determinación de la disminución del diámetro de la armadura, localización de armaduras y medición del espesor de recubrimiento de concreto, determinación de la resistividad eléctrica del concreto, medición de potenciales electroquímicos, determinación de la profundidad de carbonatación y la presencia de iones cloruros en el concreto. Se deben realizar fichas y planos de levantamiento de daños para registrar la información recogida (Troconis *et al.*, 1997). Para poder seleccionar el mejor sistema para la reparación es importante diagnosticar la causa antes de iniciar cualquier trabajo de rehabilitación (Helene, 1992), es decir, conocer si el daño se ha debido al ataque por cloruros o por carbonatación.

Tratamiento y Reparación de columnas afectadas por Corrosión

Una vez que se ha identificado un daño en la estructura por efectos de la corrosión en la armadura y que se ha concluido que deberán realizarse trabajos de reparación de los elementos afectados, antes de proceder a la ejecución deberán tomarse en cuenta las etapas que conlleva el proceso de reparación, entre ellas la planificación, el proyecto, la elección de los materiales, ejecución, y mantenimiento. Se requiere de un estudio previo donde se presenten el tipo de elemento a reparar, el tipo de corrosión, el tipo de ambiente, etc.; para elegir el sistema de reparación más conveniente.

Las medidas tradicionales de reparación comprenden las siguientes etapas:

Medida de Apeo

En caso de que el concreto a eliminar sea el recubrimiento de las armaduras de columnas, será necesario efectuar una bajada de cargas (podrá emplearse 7 kN/m^2 , sin mayorarse); Si la sección del pilar esta sometida a una carga menor a 4.5 N/mm^2 , no será necesario efectuar la bajada de carga, en caso contrario, si.

Saneado del Concreto

Se debe eliminar todo el concreto de las zonas donde el acero presente síntomas de corrosión, entre ellas: manchas de oxido, fisuraciones o delaminaciones, ampliando el área a eliminar una distancia de seguridad.

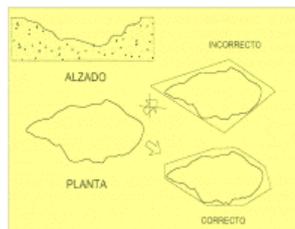
Para realizar la eliminación del concreto podrán emplearse los métodos de escarificado con martillo de agujas, picado manual con puntero o mediante cualquier otro medio mecánico, manual o neumático.

Si la penetración que se debe realizar no es importante, se limpiarán las zonas que tengan aceites o resinas, para esto se aplican o proyectan productos desengrasantes, una vez aplicado se dejan actuar durante un tiempo de 20-30 min y posteriormente se realiza un cepillado enérgico; por último se realiza un lavado con agua limpia. Otra medida para limpiar las zonas antes descritas es fabricar soluciones alcalinas al 10% de fosfato trisodico añadiéndoles sosa Caustica, carbonato sódico y alcohol.

En caso de que haya eflorescencias (en general hidrato de Calcio), su limpieza consiste en lavar las superficies con agua tibia y Detergente concentrado. Por otro lado si hay presencia de formaciones orgánicas, por ejemplo musgos, el procedimiento será quemarlos y luego realizara un cepillado de la superficie; si las manchas son de pinturas se emplearan disolventes comerciales.

De manera general y para el concreto deberá sanearse hasta obtener textura superficial de árido grueso visto. En caso de que las operaciones se realicen sobre elementos superficiales, deberán evitarse los ángulos agudos, para impedir que se originen problemas como la fisuración por retracción, y deberán obtenerse soluciones con ángulos superiores a 90° .

Escarificación Correcta del Recubrimiento



Limpieza de las Armaduras

En caso de que la corrosión de la armadura haya sido originado por carbonatación del concreto los productos derivados de la corrosión, tendrán un pequeño volumen y no producirán problemas; contrario a lo que sucede si la corrosión es originado por la presencia de cloruros, para este caso el método de limpieza empleado, debe eliminarlos totalmente.

Si tenemos el caso de corrosión generalizada (carbonatación) y la pérdida de sección no es significativa (inferior al 10%), para la limpieza de las armaduras es suficiente con un cepillado manual o mecánico, en cambio, si la corrosión está originada por ataque de cloruros será necesario realizar una limpieza de las armaduras mediante chorro de arena, luego se realizara una limpieza efectiva con chorro de agua a presión y a seguida se someterá a un secado rápido.

En cualquier caso las armaduras deberán estar libres de polvo, suciedad, aceites, grasas, oxido u otro contaminante. Para la limpieza de áreas reducidas, se empleará el cepillo de alambre, de lo contrario se utilizará chorro de arena o agua para eliminar el óxido, posterior soplado con aire a presión para limpieza de arena y polvo; ya que si se dejan adheridos restos de herrumbre a las barras la corrosión seguirá progresando a una velocidad que va a depender fundamentalmente de la oferta de electrólito.

El armado que no pueda ser limpiado o que tenga una pérdida de sección significativa, deberá ser reemplazado o suplementado con un nuevo armado, el cual deberá cumplir con los requerimientos establecidos por la normativa en vigor.

Pasivación de Las Armaduras

Fenómeno consistente en la recuperación del estado pasivo en toda la superficie de un metal que lo había perdido localmente, corroyéndose por picaduras. La repasivación se produce al imponer potenciales iguales o inferiores (más negativos) que el denominado potencial de protección, repasivación o de pasivación perfecta, que de todas estas formas se conoce.

Restauración de la Resistencia

Si las pérdidas de sección del acero son inferiores al 15% puede no ser necesario restaurar la capacidad nominal del acero puesto que no se teme la existencia de problemas estructurales; en caso contrario se deberá recalcular la estructura o restaurar la capacidad inicial del acero.

Regeneración

Los morteros utilizados para la reparación se agrupan en tres familias: de base inorgánica, de base orgánica y de base mixta.

Materiales de base inorgánica tradicionales

Se tiene por costumbre utilizar morteros y concretos de cemento portland tradicionales sin tomar en cuenta medidas de precaución, lo que tiene como consecuencia la obtención de resultados insatisfactorios. Lo ideal es utilizar cementos con resistencia característica del orden de 350-450 kg/cm² para lograr que se produzcan retracciones mínimas. Todos estos se pueden utilizar en forma de:

- **Lechada:** Material formado por cemento y agua. Su aplicación en reparaciones puede ser: *lechada ligera* (se utiliza para el relleno de fisuras de apertura inferior al milímetro); *lechada densa* tiene una relación a/c equivalente a 0,5, se coloca por vertido o bombeo y se emplea en el relleno de grietas de espesores mayores a 1 mm.

- **Mortero:** se utiliza como material de reparación será necesario la aplicación de un aditivo para reducir la relación a/c.

- **Microconcreto:** Son morteros colocados por bombeo, donde el árido pasa por un tamiz de 2.4 mm de malla, presentan como limitante el no poder someterse a compactación.

- **concreto:** Material formado por cemento, agua, árido fino y grueso. En caso de que se utilice como material de reparación es necesario que se utilice con aditivo que anule la retracción.

Materiales de base Orgánica

Son materiales que están hechos a base de un ligante que es un polímero. Esta reacción de polimerización inicia cuando se mezclan los componentes y dura un tiempo antes de que inicie el endurecimiento, llamado tiempo de trabajabilidad que oscila desde varios minutos a algunas horas, según se acerca el final del mismo aumenta la temperatura y la viscosidad del producto.

A continuación se describen los morteros con materiales de base orgánica más empleados:

- **Mortero epoxi:** sirve también como barrera anticorrosiva para las armaduras. El mortero se aplica sobre la imprimación cuando esta mantiene pegajosidad al tacto.

- **Mortero de poliuretano:** Estos morteros una vez que se han endurecido forman productos rígidos o flexibles, los cuales se utilizan en revestimientos protectores gracias a sus características y su gran adhesividad con el concreto. Otras capacidades que tienen es que forman buenas barreras anticarbonatación, son muy durables y se pueden curar a temperaturas inferiores a los 0°C.

- **Mortero de poliéster:** Esta resinas se mezclan con filler calizo, silíceo, cemento portland o con árido fino y forman morteros, los cuales tienen como ventajas una buena adherencia con el concreto, impermeabilidad, características mecánicas y de resistencia a los agentes químicos muy buenas.

Materiales de base inorgánica no tradicionales

Son morteros que como material base utilizan un cemento portland modificado con agentes expansivos o un cemento no portland, se obtiene un aumento de volumen después de fraguar el cual compensa la retracción o pueden crear una expansión que genera compresiones en el concreto. Por lo general en el mercado se ofertan como morteros preparados listos para usarse, mezclándose con agua en las proporciones indicadas por el fabricante y se colocan de forma manual, por proyección y bombeo. Se clasifican de acuerdo a su constituyente base en: Cemento portland modificado con agentes expansivos, cemento a base de fosfato de magnesio o aluminio, cemento aluminoso, cemento de ettringita. Las técnicas de ejecución empleadas para los morteros con materiales de base inorgánica son: colocación manual, concreto proyectado y concreto inyectado.

Materiales de base mixta

Es un mortero que se obtiene como resultado de la mezcla cemento y polímeros. Estos últimos se presentan en forma líquida como dispersores de partículas muy finas en agua (látex), una vez que desaparece el agua, se mezcla el efecto ligante con el del cemento, resultando un producto más compacto e impermeable. El mortero resultante presenta un módulo de elasticidad longitudinal y un coeficiente de dilatación térmica similar al de un mortero hidráulico sin modificar.

Dentro del grupo de base mixta se consideran los siguientes materiales:

- Asociación de polímeros termoestables con cementos portland. Presentan mejor adherencia sobre soporte húmedo.

- Asociación de polímeros de cementos portland con polímeros termoplásticos (presentados como Emulsión Látex). La ventaja de estos materiales son: Altas resistencias a compresión, mejora en las resistencias a tracción y flexión, reducción de la permeabilidad, mejora de la adherencia con la superficie que se está reparando, etc.

Realización de Revestimientos

En caso de que la exposición ambiental del elemento reparado sea especialmente agresiva, puede ser necesaria la aplicación de algún tipo de tratamiento superficial. Los revestimientos utilizados como materiales superficiales de protección deben tener las siguientes características:

- Profundidad de Penetración
- Absorción de agua.
- Permeabilidad al vapor de agua.
- Penetración de agentes agresivos.

Los tipos de materiales que se utilizan como revestimientos son:

- Pinturas y sellantes:** Son productos que se caracterizan por ser impermeabilizantes y forman una película continua sobre la superficie de concreto.
- Hidrófugos e impregnantes:** Son productos que una vez que son aplicados forman una película muy fina que se adhiere a la superficie del concreto sin cerrar los poros.
- Obturadores de poros:** Estos productos penetran en los poros y reaccionan con componentes del concreto, rellenando así poros y fisuras.
- Revestimientos gruesos:** Estos productos se utilizan en caso de que se necesite una protección química y mecánica, se colocan con lana o mediante gunitado.

Aplicación de Protecciones

En caso de que se necesiten procedimientos especiales de reparación, podrán realizarse mediante métodos electroquímicos de reparación.

Los métodos electroquímicos ofrecen una reducción del proceso anódico y/o proceso catódico por polarización del acero y por los cambios químicos generados en el hormigón a causa de la polarización; en el mejor de los casos pueden estos métodos electroquímicos detener estos procesos.

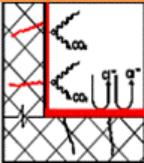
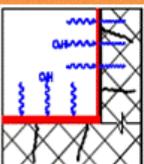
Los procedimientos electroquímicos más importantes son:

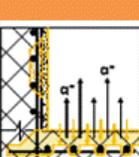
- Realcalinización electroquímica (RAE):** Esta técnica está basada en asignar al metal un potencial lo suficientemente negativo como para inmunizarlo.
- Extracción electroquímica de cloruros (EEC):** Esta técnica se basa en designar una corriente eléctrica continua entre la armadura que actúa como cátodo y un ánodo exterior que se coloca temporalmente sobre la superficie del hormigón. Los iones que tiene carga negativa (cloruros), migran en el campo creado por la corriente eléctrica desde la armadura hasta la superficie, donde está el ánodo exterior.
- Protección Catódica con corriente impresa (PC):** El objetivo de esta técnica es restablecer la protección que le otorga el hormigón al acero, por un aumento del pH del hormigón que envuelve la armadura. Esto se consigue haciendo pasar una corriente continua desde un ánodo externo hasta la armadura. El ánodo se sitúa en la superficie del hormigón junto a un electrólito de carbonato sódico o hidróxido de litio. Es necesario que se sellen las grietas y los defectos similares antes de realizar el tratamiento para evitar que se produzcan cortocircuitos

Durante muchos años los diferentes tipos de daños y sus causas han sido ampliamente estudiados, e igualmente se han establecido métodos de reparación y protección. La norma europea UNE-EN 1504 reúne todo este conocimiento resumido y clarificado a través de sus 11 principios clasificándose del 1 al 6 con los daños propios del concreto y del 7 al 11 los daños producidos por corrosión



Principios y Métodos relativos a los defectos del Concreto

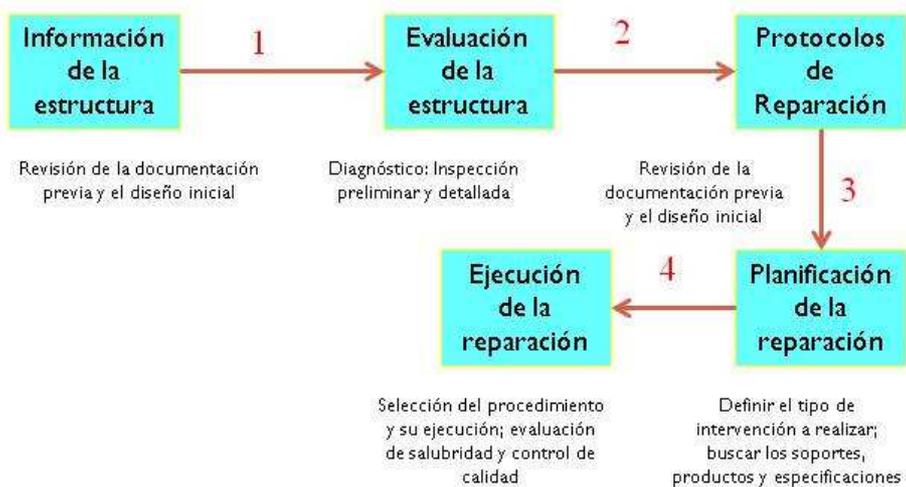
N°	Principio	métodos basados en el principio
	<p>Protección contra penetración Reducción o prevención de la entrada de agentes adversos, como el agua, otros líquidos, vapor, gas, agentes químicos y biológicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Impregnación -Aplicación de productos líquidos que penetran en el Concreto y obstruyen el sistema de poros. -Revestimiento superficial con, o sin, capacidad de puenteo de fisuras -Fisuras con vendaje local -Relleno de fisuras -Continuidad de las fisuras a través de las juntas -Levantamiento de paneles exteriores Aplicación de membranas
	<p>Control de humedad Ajuste y mantenimiento del contenido de humedad en el concreto dentro de un intervalo de valores especificado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Impregnación hidrófoba (hidrorepelente) -Revestimiento superficial -Protección o sobre revestimiento -Tratamiento electroquímico: Aplicación de una diferencia de potencial entre partes del concreto para ayudar o evitar el paso del agua a través del concreto.
	<p>Restauración del concreto Restauración del concreto original de un elemento de la estructura a la forma y función especificada originalmente. Restauración de la estructura de concreto por sustitución parcial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Aplicación de mortero a mano -Relleno con concreto -Proyección de concreto o mortero -Reemplazo de elementos

	<p>4</p>	<p>Refuerzo estructural Incremento o restauración de la capacidad portante de un elemento de la estructura de concreto.</p>	<p>-Adición o reposición de las barras de acero estructural embebidas o exteriores -Instalación de barras de unión en agujeros prefabricados u horadados en el concreto -Adhesión de chapas -Adición de concreto o mortero -Inyección de fisuras, huecos e intersticios -Relleno de fisuras, huecos e intersticios</p>
	<p>5</p>	<p>Resistencia al ataque físico Incremento de la resistencia al ataque físico o mecánico</p>	<p>-Capas o revestimientos -Impregnación</p>
	<p>6</p>	<p>Resistencia a los productos químicos Incremento de la resistencia de la superficie del concreto al deterioro por ataque químico.</p>	<p>-Capas o revestimientos -Impregnación</p>
	<p>7</p>	<p>Conservación o restauración del pasivado Creación de las condiciones químicas en las que la superficie de la armadura se mantenga o retorne a las condiciones de pasivado</p>	<p>-Incremento del recubrimiento de la armadura con mortero de cemento u concreto adicional -Reemplazo del concreto contaminado o carbonatado -Re alcalinización electroquímica del concreto carbonatado -Re alcalinización del concreto carbonatado por difusión -Extracción electroquímica de los iones cloruro</p>

	8	<p>Incremento de la resistividad</p> <p>Incremento de la resistividad eléctrica del concreto</p>	<p>-Limitación del contenido de humedad por tratamientos superficiales, revestimientos o protecciones</p>
	9	<p>Control catódico</p> <p>Creación de las condiciones para que las áreas potencialmente catódicas de la armadura hagan imposible una reacción anódica.</p>	<p>-Limitación del contenido en oxígeno (en el cátodo) por saturación o revestimiento superficial)</p>
	10	<p>Protección catódica</p>	<p>-Aplicación de un potencial eléctrico</p>
	11	<p>Control de las áreas anódicas</p> <p>Creación de condiciones para que las áreas potencialmente anódicas de la armadura hagan imposible una reacción de corrosión.</p>	<p>-Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos</p> <p>-Pintado de la armadura con revestimientos barrera</p> <p>-Aplicación de inhibidores al concreto</p>

Fuente: UNE-ENY 1504-9

Esquema de Intervención



Metodología de Intervención por factor desencadenante de la Corrosión en las armaduras



Basada en la Tabla de los Principios de la **UNE EN-1504**



Basada en la Tabla de los Principios de la **UNE EN-1504**

PARA TOMAR EN CUENTA



En algunos casos es necesario realizar un Refuerzo estructural, debido a que la corrosión ha afectado significativamente las barras de refuerzo disminuyendo su resistencia mecánica, o cuando se asigna a la estructuras nuevas cargas no previstas en el diseño inicial.

Es importante considerar que muchas veces las obras de reparación pueden ser más costosas y complicadas que la demolición y sustitución del elemento estructural por lo que los Modelos de Reparación que aquí se presentan corresponden a estructuras jóvenes que aún se encuentran en su rango de vida útil.

Concepto de Columna

COLUMNA

Constituyen elementos de directriz vertical y generalmente trabajan bajo esfuerzo de compresión. Tiene como función principal transmitirle al terreno las acciones que actúan sobre la estructura a través de sus fundaciones, la cual las convierte en piezas estructurales de gran importancia.

Modelos de Reparación de Columnas



-Columna corroída en ambiente agresivo
-Galpón Industrial

Síntomas:

-Manchas de Óxidos
-Fisuración y desprendimiento del recubrimiento.

Protocolo de Reparación

- 1) Apeo de la Columna
- 2) Remoción del concreto deteriorado
- 3) Preparación de la superficie: por tratarse de columna expuesta a cloruro se recomienda limpiar con chorro de arena, posteriormente conorro de agua a alta presión y secado rápido
- 4) Protección del acero de refuerzo con revestimientos que contengan pigmentos activos o revestimiento de barrera.
- 5) Restauración del pasivado con morteros de reparación, bien sea aplicados a mano, rellenados o proyectados
- 6) Protección contra futuros ataques con inhibidores de corrosión y protección de la superficie con puenteo y/o relleno de fisuras.



-Columna corroída debido a humedades por capilaridad
-Edificio residencial/planta baja

Síntomas:

-Grieta a lo largo e la columna
-Filtración
-Alta humedad relativa

Protocolo de Reparación

- 1) Se debe controlar la causa de la humedad, corregir los drenajes que pudieron causar el daño
- 2) Apuntalamiento de la columna
- 3) Remoción del concreto deteriorado y limpieza de las armaduras (puede realizarse en éste caso manualmente)
- 4) Protección del acero de refuerzo con revestimientos de protección de las armaduras
- 5) Aplicación del mortero reparador para restaurar el pasivado; que puede ser aplicado a mano, por relleno o proyectado
- 6) Mejoramiento del acabado utilizando por ejemplo capas de yeso y luego masilla para preparar la superficie previa a la pintura.



-Columna carbonatada
-Estacionamiento de edificio residencial

Síntomas:

-Grietas paralelas a la armadura
-Desprendimiento del concreto

Protocolo de Reparación

- 1) Apeo de la columna
- 2) Preparación de la superficie del concreto con chorro de agua a alta presión
- 3) Limpieza abrasiva usando un cepillado manual o mecánico
- 4) Revestimiento superficial del acero de refuerzo para su protección pintando la armadura con revestimientos de protección anticorrosivos
- 5) Sustitución y restuaración del concreto dañado con morteros de reparación
- 6) Protección contra la carbonatación sobre la superficie de la columna y puenteo o sellado de fisuras

CONCLUSIONES

Tomando en consideración los objetivos de estudio, la fundamentación teórica realizada y analizados los resultados obtenidos producto de ésta investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Partiendo del diagnóstico realizado a los profesores del Departamento de Ingeniería Estructural y los estudiantes de octavo semestre de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, manifestaron la necesidad de la elaboración de un manual de reparación de columnas de concreto armado sometidas a efectos de corrosión; ante la deficiente información sobre éste fenómeno en las normativas vigentes, además del desconocimiento de la Norma Técnica en discusión.

Con respecto a las factibilidades operativas y técnicas para la elaboración del Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de Corrosión se evidenció que es completamente realizable debido a la disponibilidad de fuentes bibliográficas y estudios previos sobre el tema a nivel mundial. No obstante, se puede inferir la viabilidad de la implementación de éste manual por considerarse como un aporte ante la necesidad manifestada en el diagnóstico.

Finalmente como resultado de la investigación se desarrolló el procedimiento para la elaboración del Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a efectos de Corrosión, para fortalecer y orientar sobre las fallas ocasionadas debido a ésta causa, a todas aquellas personas inmersas dentro del área de la Ingeniería Civil.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se plantean son producto de las conclusiones que generó el análisis de los resultados de ésta investigación, las cuales se mencionan a continuación:

- Poner a disposición el contenido de este manual a todas aquellas personas involucradas en la planificación y ejecución de obras de reparación de columnas de concreto armado sometidas a efectos de corrosión, de manera que sirva de instrumento o guía para la toma de decisiones en cuanto al protocolo de reparación adecuado a los factores que ocasionan éste fenómeno en el elemento estructural estudiado.
- Desarrollar investigaciones que permitan unificar criterios en cuanto al diseño de las estructuras de concreto armado, especialmente bajo condiciones agresivas, considerando su durabilidad; así como la reparación de los elementos estructurales no abarcados en este Trabajo Especial de Grado.
- Incorporar dentro del contenido programático de las asignaturas relacionadas con el concreto y su durabilidad el estudio de la corrosión, así como sus consecuencias en la vida útil de las estructuras.
- Se exhorta a que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo haga alianzas con la Universidad Centro-Occidental Lisandro Alvarado y Universidad del Zulia, pioneras en el estudio de la corrosión en el país, que permitan el intercambio y afianzamiento de conocimientos respecto al diagnóstico, estudio y reparación de estructuras de concreto armado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Arias, F. (2004). **El Proyecto de Investigación, Guía para su Elaboración**. Episteme. Venezuela.

Aurrekoetxea, J. (2009). **“Reparación de pilares con daños parciales localizados”**. Universidad de Burgos. Burgos, España.

BASF THE CHEMICAL COMPANY (2010). **“Vaciado de Concreto en climas cálidos”**. Boletín Informativo

Bermúdez, M. (2007). **“Corrosión de las armaduras del Hormigón Armado en ambiente marino. Zona de carrera de mareas y zona sumergida”**. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Cobo Escamilla, A. (2001) **“Corrosión de armaduras en estructuras de Hormigón armado: Causas y procedimiento de rehabilitación”**. Fundación Escuela de la Edificación. Madrid, España.

Dal Molin, D. (1988). **“Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise das manifestações Típicas e Levantamiento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul”**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil

Fernández Canovas M. (1994). **“Patología y Terapéutica del hormigón armado”**. ED. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España.

- Fernández Canovas M. (1996). **“Hormigón”**. Ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, España.
- González M., Irassar F. (1995). **“Las estructuras de hormigón frente al ataque de los sulfatos”**. Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Tucumán, Argentina.
- Grupo Español del Hormigón.(1992) **“Encuesta sobre Patologías de Estructuras de Hormigón”**. GEHO, Boletín 10. Madrid, España
- Guido, Geimar. (1979). **“Concreto”** Sika. Valencia, Venezuela
- Helene, P (2003). **“Proyectar para durabilidad”**. Seccional colombiana del ACI. Bogotá, Colombia.
- Helene P., Pereira F. (2007). **“Rehabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto”**. Editores. Sao Paulo, Brasil.
- Hernández, C. (2007). **“Patología de la Edificación en estructuras metálicas”**. Ingeniería de inspección y control”. La Plata, Argentina.
- Hernández, Fernández y Baptista (2006). **Metodología de la Investigación**. McGraw Hill. México.
- Hernández, Y. (2009). **“Evaluación de Microsilice en la reparación de vigas de Hormigón Armado contaminadas por cloruro.”** Universidad de Granada. Granada, España.

Muñoz, Harold. (2001). “**Evaluación y Diagnostico de Estructuras de Concreto**”. Seminario. Bogotá, Colombia.

Norma Covenin 1753:2006 “**Proyecto y construcción de obras de concreto estructural**”

Norma Técnica FONDONORMA: “**Concreto. Durabilidad**” NTF 27:1-004

Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño (2001). **Manual de Trabajo Especial de Grado**. Extensión Valencia.

Pérez, L. (2010). “**Vida útil residual de estructuras de Concreto Armado afectadas por corrosión**”. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Porrero, Ramos, Grases, Velazco (2008). “**Manual del concreto estructural**”. SIDETUR. Caracas, Venezuela.

Tamayo, M. (2000). **El Proceso de la Investigación Científica**. Ediciones Limusa. México

Troconis, O. y Colaboradores Red DURAR (1997). “**Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Concreto Armado**”. ISBN 980-296-541-3. CYTED. Programa Ibero-Americano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Subprograma XV, Corrosión/Impacto Ambiental en Materiales.

UNE-ENV 1504-9 Norma Española. **Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad.**

Páginas Web Consultadas

Patología en Estructuras de Concreto (2009, Julio 09) Pág. Web en línea: [http:// www.phdesignconsultancy.com](http://www.phdesignconsultancy.com) (Consultada: 2011, junio 21).

Patología de Estructuras Metálicas (2010, Noviembre 30) Pág. Web en línea: <http://www.wikilibros.com> (Consultada: 2011, junio 21).

Agentes agresivos sobre el concreto (2007, Julio 09) Pág. Web en línea: <http://www.monografias.com> (Consultada: 2011, junio 21).

Mantenimiento y Rehabilitación de Estructuras en Ambientes gresivos (2010. Noviembre 27) Pág. Web en línea: <http://www.poli.usp.br> (Consultada: 2011, junio 21).

Estructuras de Acero y Concreto Rehabilitacion (2008, Febrero 12) Pág. Web en línea: [http:// www.lamigal.com](http://www.lamigal.com) (Consultada: 2011, junio 21).

Evaluación y Diagnostico de Patologías (2006, octubre 05) Pág. Web en línea: <http://www.Pequiven.com.ve> (Consultada: 2011, junio 21).

Corrosión del Acero (2008, JULIO 16) Pág. Web en línea: <http://www.pemex.com.me> ((Consultada: 2011, junio 21).

ANEXOS



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



El presente cuestionario tiene como objetivo fundamental, recabar información relacionada con el desarrollo del Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a Efectos de Corrosión.

Es necesario que se tengan en cuenta las siguientes instrucciones para su llenado:

- Lea cuidadosamente y responda con sinceridad.
- Para evitar limitaciones, esta encuesta es anónima, es decir, no coloque su identificación.
- Agradecemos su colaboración, ya que se trata de un proyecto para la elaboración de un Trabajo Especial de Grado.
- Indique con una X la respuesta de su preferencia.

Gracias por su Colaboración.

CUESTIONARIO

		SI	NO	NO SABE
1	¿Está usted satisfecho con la cantidad de información suministrada en la carrera de Ingeniería Civil acerca de Patología Estructural?			
2	¿Tiene usted conocimiento de la Norma COVENIN 1753-2006?			
3	¿Considera que la Norma COVENIN 1753-2006 trata a profundidad la problemática de los efectos de corrosión en las columnas de concreto armado?			
4	¿Considera usted que los conocimientos que emplea sobre las Normas Venezolanas para el Proyecto y Construcción de Obras de Concreto Estructural son suficientes para su utilización en su vida profesional?			
5	¿Estima usted que el procedimiento para el estudio de la problemática de corrosión en las zonas costeras de Venezuela, ha sido investigado de manera correcta, es decir, bajo normativas?			
6	¿Cree usted necesario estudiar los efectos de corrosión en las columnas de concreto armado en la carrera de Ingeniería Civil?			
7	¿Encuentra usted que en la carrera de Ingeniería Civil se deberían analizar los efectos electroquímicos que ocurren en columnas de concreto armado?			
8	¿Cree usted oportuno que se debería contar con alguna bibliografía venezolana que tratara los temas de efectos de corrosión en columnas de concreto armado, adaptados a las diversas zonas climáticas de Venezuela?			
9	¿Usted considera que sería de beneficio para los estudiantes y profesionales de Ingeniería Civil, contar con un Manual de Reparación de Columnas de Concreto Armado sometidas a Efectos de Corrosión?			
10	¿Conoce Usted la Norma Técnica FONDONORMA "Concreto. Durabilidad" NTF 27:1-004 ?			

Anexo A **Questionario.**

Fuentes. Los autores, Bogado B. y Villegas L (2012)



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



JUICIO DE EXPERTO

Yo, _____, titular de la
Cédula de Identidad N°: _____, Profesión:
_____, revisé, analicé y evalué
el INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS, para el Trabajo Especial
de Grado, cuyo título es: **MANUAL DE REPARACIÓN DE COLUMNAS DE
CONCRETO ARMADO SOMETIDAS A EFECTOS DE CORROSIÓN.**
Investigación realizada por las Bachilleres Bogado B., Magdalena N., C.I. N°
18.044.443 y Villegas L., Martha L., C.I. N° 18.501.476.

Valido el presente instrumento como apto para la investigación.
Asimismo, certifico que cumple con los requisitos exigidos para su aplicación
al responder con los objetivos planteados.

FORMATO PARA LA VALIDEZ DE EXPERTOS

CRITERIO	PERTINENCIA Oportunidad Conveniencia		CLARIDAD Redacción		COHERENCIA Correspondencia		DECISIÓN
	adecuado	inadecuado	adecuado	inadecuado	adecuado	inadecuado	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Datos De Examinadores

Nombre y Apellido	
Institución Donde Labora	
Departamento	
Nivel Académico	
Fecha de la Validación	
Firma	

Anexo B Instrumento de Validación.
Fuentes. Los autores, Bogado B. y Villegas L (2012)

