

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil



**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL
DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO EXISTENTES**

KAREM J. STUARDO PÉREZ

**INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

Profesor Guía

Sr. Mauricio Villagrán V.

Concepción, Octubre 2008



UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA

*“Cualquiera que
haya sido nuestro logro,
alguien siempre nos
ayudó a alcanzarlo...”*

*A mi Familia
y Profesores*



RESUMEN

El gran desarrollo de la construcción se ha basado principalmente en la utilización de hormigón, debido a sus propiedades de durabilidad y rentabilidad; y de sus magníficas prestaciones en cuanto a resistencia mecánica al combinarse con acero.

Hasta hace algunos años se consideraba que un hormigón armado bien ejecutado tenía una duración prácticamente ilimitada. Ahora bien, tanto la experiencia como las investigaciones llevadas a cabo indican que diferentes agresiones de tipo físico, químico o mecánico causan el deterioro del mismo y dan lugar a que aparezcan todo tipo de patologías asociadas.

En la actualidad, muchas estructuras de hormigón armado con pocos años de servicio o muy antiguas, requieren ser evaluadas estructuralmente debido a su deterioro, a causa de la corrosión, defectos constructivos, catástrofes naturales, u otro factor; cuya finalidad es prevenir riesgos para las personas y determinar el nivel de daño que presenta la estructura para adoptar una propuesta de actuación acorde con los intereses del propietario o mandante.

Esta tesis, presenta las patologías que pueden afectar a una estructura de hormigón armado, la metodología para inspeccionar, realizar ensayos y evaluar una estructura deteriorada, además de algunos esquemas de reparación; acordes con los códigos o normas utilizadas en Chile.

Se pretende, proporcionar un esquema ordenado que abarque todas las instancias necesarias para una evaluación estructural y proporcione detalles de cómo realizar cada uno de los ensayos y pasos requeridos, para obtener una evaluación certera.



La evaluación se abordará mediante dos métodos. La evaluación estructural simplificada o detallada está enfocada a estructuras que requieran ser evaluadas debido al deterioro por el paso del tiempo, corrosión, fisuración, pérdidas de resistencia, asentamientos o requieran cambio de uso, entre otros. La elección de utilizar la forma simplificada o detallada depende del tiempo, costos y nivel de deterioro que presente la estructura. El segundo método, o evaluación post sísmica, se orienta a estructuras que han sufrido un fenómeno natural como es el sismo, para el cual también se propone una forma rápida y detallada. Sin embargo, ambos métodos pueden utilizarse en forma conjunta a modo de complemento o en otras instancias, de acuerdo a lo que el evaluador considere conveniente.



ABSTRACT

The great development of the construction has been based on the utilization of concrete, due to its properties of durability and profitability principally and of his magnificent social benefits as to mechanical resistance in combination with steel.

Until some years ago it was considered that a reinforced concrete had practically unlimited duration. As much as the experience or the investigations accomplished, indicate that different aggressions of physical, chemical or mechanic origin, cause the deterioration and the appearance of all type of correlated pathologies.

Presently, many newly reinforced concrete structures or very old one require to be evaluated structurally due to his deterioration, caused by their corrosion, constructive defects, natural disasters, or other factors. The aim of this evaluation is to prevent risks for people and to determine the level of damage that presented by the structure, and to adopt a proposal of acting in agreement with the owner's interests.

This thesis shows the pathologies that can affect a reinforced concrete structure, the methodology to check it, and the way to evaluate the level of deterioration of a single structure, in addition to some schemes of reparation, in concordance with Chilean's codes or standards.

It's attempted to provide a scheme order that consider all the necessary instances for a proper structural evaluation and provide details of how accomplishing each one of the lab test and steps required, to obtain an accurate evaluation.



It will be discussed the evaluation using two methods; the structural simplified evaluation or detailed, focused into structures that require to be evaluated due to the high level of deterioration. The second method, or Post seismic evaluation, it looks toward structures that they have suffered a natural phenomenon, as it is the earthquake, providing a fast and detailed form as well. Moreover, it can be utilized both methods together, as a complement of each other or according to what the checker consider convenient.



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	1-1
1.1 Generalidades.....	1-1
1.2 Objetivo General.....	1-5
1.3 Objetivos Específicos.....	1-6
CAPÍTULO 2. PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN ARMADO.....	2-1
2.1 Introducción.....	2-1
2.2 Patologías del Hormigón Armado.....	2-3
2.2.1 Patologías del Hormigón.....	2-3
2.2.1.1 Patologías de Origen Mecánico.....	2-3
2.2.1.2 Patologías de Origen Higrotérmico.....	2-13
2.2.1.3 Patologías de Origen Químico.....	2-20
2.2.2 Patologías de la Armadura.....	2-22
2.2.2.1 Patologías de Origen Electroquímico.....	2-22
CAPÍTULO 3. INSPECCIÓN VISUAL Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS	
A ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.....	3-1
3.1 Introducción.....	3-1
3.2 Obtención de datos previos.....	3-3
3.3 Reconocimiento visual del edificio.....	3-4
3.4 Realización de Pruebas y Ensayos.....	3-7



CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE UN EDIFICIO.....	4-1
4.1 Introducción.....	4-1
4.2 Evaluación Estructural.....	4-3
4.2.1 Evaluación Estructural Simplificada.....	4-3
4.2.2.1 Índice de Corrosión IC.....	4-6
4.2.2.2 Índice Estructural IE.....	4-11
4.2.2.3 Índice de Daño Estructural IDE.....	4-18
4.2.2 Evaluación Estructural Detallada.....	4-20
4.2.2.1 Penetración de Ataque.....	4-21
4.2.2.2 Adherencia Residual.....	4-24
4.2.2.3 Sección Residual de Armadura.....	4-26
4.2.2.4 Sección Residual de Hormigón.....	4-27
4.2.2.5 Abertura de Fisura.....	4-28
4.2.2.6 Evaluación de Capacidad Resistente.....	4-30
4.2.2.7 Diagnóstico.....	4-37
4.3 Evaluación Post Sísmica.....	4-40
4.3.1 Procedimiento de Evaluación.....	4-40
4.3.1.1 Evaluación Post Sísmica Rápida.....	4-42
4.3.1.2 Evaluación Post Sísmica Detallada.....	4-43
CAPÍTULO 5. ORIENTACIÓN PARA UNA CORRECTA REPARACIÓN	
DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.....	5-1
5.1 Introducción.....	5-1
5.2 Metodología General.....	5-2
5.3 Procedimiento General de Reparación.....	5-3
5.3.1 Alternativas de Reparación.....	5-4
5.3.2 Diseño de solución a una patología.....	5-5



CAPÍTULO 6. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....	6-1
6.1 Generalidades.....	6-1
6.2 Comentarios.....	6-3
6.3 Recomendaciones.....	6-6

CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7-1
--	------------

ANEXO A. INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS

“IN SITU” O LABORATORIO.....	A-1
A.1 Ensayo Tipo de Cemento.....	A-2
A.2 Ensayo de Carbonatación.....	A-8
A.3 Ensayo de Cloruros.....	A-12
A.4 Ensayo Destructivo.....	A-16
A.4.1 Extracción de Testigos de Hormigón.....	A-16
A.5 Ensayos No Destructivos.....	A-22
A.5.1 Ensayo de Esclerometría.....	A-22
A.5.2 Ensayo de Ultrasonido.....	A-25
A.5.3 Ensayo de Resistencia Eléctrica.....	A-29
A.5.4 Ensayo de Velocidad de Corrosión.....	A-30

ANEXO B. CARTA DE COLORES PARA LA DETERMINACIÓN

DE CEMENTO ALUMINOSO Y CEMENTO PÓRTLAND.....	B-1
---	------------



ANEXO C. TABLAS DE CALIFICACIÓN DE DAÑOS.....C-1

**ANEXO D. FORMULARIOS DE INSPECCIÓN PARA EVALUACIÓN
POST SÍSMICA.....D-1**

ANEXO E. ALGUNOS MÉTODOS DE REPARACIONES..... E-1

- E.1 Inyección de resinas epóxicas en fisuras..... E-2
- E.2 Costura de fisuras..... E-4
- E.3 Armadura adicional como refuerzo convencional en fisuras..... E-5
- E.4 Armadura adicional pretensada..... E-6
- E.5 Reparación de grietas mediante mortero u hormigón epóxico..... E-6
- E.6 Reparación de nidos mediante mortero u hormigón epóxico..... E-7
- E.7 Aumento de refuerzo..... E-7
- E.8 Reposición del recubrimiento de enfierraduras..... E-8
- E.9 Reparación utilizando Fibras de Vidrio..... E-9
- E.10 Reparación utilizando Fibras de Carbono..... E-10

ANEXO F. FORMULARIOS Y CHECK LIST RECOMENDADOS..... F-1



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de Flujo Evaluación Estructural en edificios.....	1-4
Figura 2.1: Patologías del Hormigón Armado.....	2-3
Figura 2.2: Fisuración por tracción.....	2-5
Figura 2.3: Fisuración por compresión.....	2-6
Figura 2.4: Fisuración inclinada en vigas debido a esfuerzos cortantes.....	2-7
Figura 2.5: Fisuración longitudinal en pilares por compresión.....	2-9
Figura 2.6: Fisuración inclinada en pilares por cortante.....	2-9
Figura 2.7: Fisuración transversal en pilares debidas al pandeo.....	2-10
Figura 2.8: Fisuración por torsión.....	2-11
Figura 2.9: Fisuración por punzonamiento.....	2-11
Figura 2.10: Influencia de las fisuras en la corrosión.....	2-12
Figura 2.11: Fisuración en muros por deformación excesiva.....	2-13
Figura 2.12: Fisuras distribuidas aleatoriamente en la cara superior de losas debido a la retracción plástica del hormigón.....	2-16
Figura 2.13: Fisuras paralelas en la cara superior de losas debido a la retracción plástica del hormigón.....	2-16
Figura 2.14: Fisuración transversal en losas debido a la retracción hidráulica del hormigón.....	2-18
Figura 2.15: Fisuración longitudinal siguiendo la dirección de las vigas debido a la retracción hidráulica del hormigón.....	2-18
Figura 2.16: Fisuración en estrella por ataque químico ácido – álcali.....	2-20
Figura 2.17: Fisuración de distribución aleatoria por ataque químico de sulfatos.....	2-21
Figura 2.18: Factores que posibilitan la corrosión en la armadura.....	2-23



Figura 4.7: Pérdida de sección de la armadura.....	4-27
Figura 4.8: Sección Inicial de Hormigón y Sección Residual de Hormigón.....	4-27
Figura 4.9: Obtención de parámetros d_c y s_l	4-29
Figura 4.10: Diagrama de Flujo para el diagnóstico de una estructura.....	4-37
Figura 4.11: Calificación del Riesgo de Corrosión.....	4-38
Figura 4.12: Procedimiento de evaluación de la seguridad de la estructura.....	4-41
Figura 5.1: Metodología General de Análisis y Solución a los Problemas Patológicos en Estructuras de Hormigón Armado.....	5-2
Figura 5.2: Diagrama a seguir para la reparación de estructuras.....	5-3
Figura 5.3: Criterios de selección de la alternativa más conveniente.....	5-4
Figura 5.4: Etapas que constituyen un diseño detallado de la solución de un problema patológico en estructuras de hormigón armado.....	5-5
Figura A.1: Esquema del proceso de ensayo de sulfatos.....	A-3
Figura A.2: Esquema del proceso de ensayo de oxina.....	A-5
Figura A.3: Esquema del proceso para ensayo de carbonatación.....	A-9
Figura A.4: Medición de profundidad de carbonatación.....	A-11
Figura A.5: Esquema del proceso para ensayo de cloruros.....	A-13
Figura A.6: Correlación entre el Índice esclerométrico y la Resistencia a la compresión.....	A-24
Figura A.7: Tipos de transmisión.....	A-25
Figura A.8: Medición profundidad de grietas.....	A-26
Figura A.9: Medición de inclinación de grietas.....	A-26
Figura B.1: Coloración adoptada superficialmente por el cemento Pórtland.....	B-3
Figura B.2: Coloración adoptada interiormente por el cemento Pórtland.....	B-4
Figura B.3: Coloración adoptada superficialmente por el cemento aluminoso.....	B-5
Figura B.4: Coloración adoptada interiormente por el cemento aluminoso.....	B-6
Figura E.1: Costura de Fisuras.....	E-4
Figura E.2: Armadura adicional como refuerzo convencional en fisuras.....	E-5



Figura E.3: Armadura adicional pretensada..... E-6
Figura E.4: Ejemplo de Aumento de refuerzo, en un pilar..... E-8
Figura E.5: Demostración de aplicación de refuerzo de fibra de vidrio..... E-10



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Recubrimiento mínimo de hormigón sobre la armadura.....	2-27
Tabla 2.2: Máxima razón agua/cemento en casos de exposición severa.....	2-28
Tabla 4.1: Valor Índice de corrosión.....	4-6
Tabla 4.2: Clases de exposición.....	4-8
Tabla 4.3: Valor de la Agresividad Ambiental.....	4-9
Tabla 4.4: Indicadores para estimación de IDC.....	4-10
Tabla 4.5: Índice de Armadura Transversal.....	4-12
Tabla 4.6: Índice Estructural para elementos sometidos a flexión.....	4-14
Tabla 4.7: Índice Estructural para elementos sometidos a flexión (Opción Simplificada).....	4-14
Tabla 4.8: Índice de Armado Transversal.....	4-15
Tabla 4.9: Índice Estructural para elementos sometidos a flexo-compresión.....	4-16
Tabla 4.10: Índice Estructural para elementos sometidos a flexo-compresión (Opción Simplificada).....	4-17
Tabla 4.11: Índice de Daño Estructural.....	4-18
Tabla 4.12: Urgencia de Intervención de acuerdo al Índice de Daño Estructura...	4-19
Tabla 4.13: Descripción de Tipos de estado último.....	4-30
Tabla 4.14: Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas, ξ	4-35
Tabla 4.15: Deflexión máxima admisible.....	4-36
Tabla 4.16: Criterios básicos para la evaluación rápida.....	4-42
Tabla 4.17: Criterios para evaluar la regularidad vertical.....	4-44
Tabla 4.18: Evaluación del porcentaje de inclinación.....	4-45
Tabla 4.19: Evaluación del asentamiento.....	4-46
Tabla 4.20: Criterios para la evaluación del grado de daño estructural.....	4-47



Tabla 4.21: Clasificación de la edificación de acuerdo al daño estructural.....	4-47
Tabla A.1: Detección del cemento aluminoso: Interpretación de ambos ensayos.....	A-6
Tabla A.2: Limitación del contenido de cloruros.....	A-15
Tabla A.3: Clasificación de los hormigones por resistencia a compresión.....	A-19
Tabla A.4: Factor de corrección por esbeltez del testigo, k_1	A-20
Tabla A.5: Factor de corrección de probeta cilíndrica a probeta cúbica, k_2	A-21
Tabla A.6: Evaluación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de pulso, según Leslie y Cheesman.....	A-27
Tabla A.7: Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas.....	A-28
Tabla A.8: Presencia de corrosión de acuerdo a ensayo de resistividad eléctrica.....	A-29
Tabla A.9: Nivel de corrosión de acuerdo a la intensidad de corrosión.....	A-31
Tabla A.10: Intensidad de corrosión dependiendo del medio ambiente.....	A-32
Tabla C.1: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en vigas.....	C-3
Tabla C.2: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en pilares.....	C-4
Tabla C.3: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en losas.....	C-5
Tabla C.4: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en cualquier elemento de hormigón armado.....	C-6
Tabla C.5: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en muros.....	C-7



NOMENCLATURA

a	:	Dimensión mínima del elemento, en su sección transversal, en mm
A'	:	Área de la sección transversal sin considerar el recubrimiento y el diámetro de los estribos, en cm^2
A_c	:	Sección de hormigón simétrico con las armaduras, dividido por el número de barras, en mm^2
A_s	:	Área de barras de acero de refuerzo, en cm^2
b	:	Ancho de la sección transversal de hormigón, en cm
B	:	Constante que toma el valor de 26 mV para ensayos in situ
B_l	:	Base del elemento o edificio, en m
C	:	Profundidad de la grieta, en mm
Cr	:	Carbonatación relativa
d	:	Canto útil o útil reducido de la sección, en mm
\bar{d}	:	Diámetro medio de la probeta cilíndrica de hormigón, en cm
d_c	:	Distancia entre el centro de una barra hasta la fibra extrema traccionada, en mm
d_i	:	Distancia entre transductores, en cm
d_1	:	Diámetro perpendicular a d_2 medido a media altura de la probeta cilíndrica de hormigón, en cm
d_2	:	Diámetro perpendicular a d_1 medido a media altura de la probeta cilíndrica de hormigón, en cm
D	:	Daño Despreciable
D_a	:	Densidad aparente de la probeta cilíndrica de hormigón, en g/cm^3
D_n	:	Tamaño máximo nominal del árido grueso, en mm
E	:	Carga por Sismo



f	:	Tensión de Adherencia, en MPa
f_b	:	Adherencia Residual, en Mpa
f_c	:	Resistencia especificada a compresión del hormigón, en MPa
f_c'	:	Resistencia característica a compresión del hormigón , en Mpa
f_{ci}	:	Resistencia a tracción del hormigón, en Mpa
f_r	:	Módulo de ruptura del hormigón, en Mpa
f_s	:	Tensión en el acero de la armadura, en Mpa
f_{150}	:	Tensión de rotura del cilindro, en mm
F	:	Carga debida al Peso y Presión del Fluido
h	:	Altura de la sección transversal de hormigón, en cm
\bar{h}	:	Altura promedio de la probeta cilíndrica de hormigón, en cm
h_1	:	Altura de la probeta cilíndrica de hormigón medida en la generatriz opuesta a h_2 , en cm
h_2	:	Altura de la probeta cilíndrica de hormigón medida en la generatriz opuesta a h_1 , en cm
H	:	Carga debida al Peso y Presión del Suelo
H_1	:	Altura del elemento o edificio, en m
i	:	Inclinación del elemento o edificio
I_{corr}	:	Intensidad de corrosión, en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
I_{corr}^{\max}	:	Intensidad de corrosión máxima, en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
I_{corr}^{rep}	:	Intensidad de corrosión representativa, en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
I_{cr}	:	Momento de Inercia de la sección fisurada, en mm^4
I_e	:	Momento de inercia efectivo, en mm^4
I_g	:	Momento de inercia de la sección bruta del elemento, sin tener en cuenta el refuerzo, en mm^4
IC	:	Índice de Corrosión
IDE	:	Índice de Daño Estructural
IE	:	Índice Estructural



k_1	:	Factor de corrección por esbeltez del testigo
k_2	:	Factor de corrección de probeta cilíndrica a probeta cúbica
l	:	Luz de la viga o losa en una dirección; proyección libre del voladizo, en mm
L	:	Sobrecarga
L_r	:	Sobrecarga de Cubierta
m	:	Masa de la probeta cilíndrica de hormigón, en g
M	:	Daño Medio
M_a	:	Momento máximo no mayorado presente en elemento, en Nmm
M_{cr}	:	Momento de fisuración, en Nmm
MS	:	Daño Muy Severo
n	:	Número de estribos en la longitud de anclaje
n'	:	Número de barras traccionadas
p_i	:	Período de iniciación, en años.
P	:	Carga Permanente
P_n	:	Carga máxima aplicada a la probeta cilíndrica, en kgf
P_x	:	Penetración de Ataque en barras principales, en mm
P_{xo}	:	Penetración de ataque correspondiente al inicio de la corrosión, en mm
P_{xt}	:	Penetración de Ataque en barras de estribos, en mm
r	:	Espesor recubrimiento de armadura, en mm
R	:	Carga por Lluvia
R_c	:	Resistencia a la compresión del hormigón, en kgf/cm ²
R_n	:	Resistencia nominal de la estructura
R_p	:	Resistencia de Polarización, en mV/A
S	:	Daño Severo
S_l	:	Espaciamiento entre barras principales, en mm
S_n	:	Asentamiento del elemento o edificio, en cm
S_t	:	Separación entre estribos, en mm



t	:	Lectura de tiempo, en μs
t_p	:	Tiempo de propagación de la corrosión, en años
t_x	:	Edad de la estructura, en años
t_1	:	Tiempo de la distancia inicial (x), en s
t_2	:	Tiempo del doble de la distancia inicial ($2x$), en s
T	:	Efectos acumulados de Variación de Temperatura, Flujo Plástico, Retracción, Asentamiento Diferencial, y Retracción del hormigón de retracción compensada
U	:	Carga última de diseño
V	:	Fuerza de Corte, en N
V_p	:	Velocidad de pulso, en Km/s
w	:	Ancho de fisura estimado, en mm
w_m	:	Ancho máximo de fisura probable, en mm
W	:	Carga por Viento
x	:	Distancia inicial, en mm
\bar{x}	:	Promedio de las lecturas del Martillo de Schmidt consideradas apropiadas, en MPa
x_{co2}	:	Espesor de frente carbonatado, en mm
x_{cl}	:	Profundidad de Cloruros, en mm
x_i	:	Lectura i del Martillo de Schmidt, en MPa
y_t	:	Distancia desde el eje centroidal de la sección total a la fibra extrema en tracción, sin considerar el refuerzo, en mm
α	:	Coefficiente dependiente del tipo de ataque
β	:	Coefficiente que depende de la posición de la barra
Δ	:	Dispersión media, en MPa
ΔE	:	Variación de potencial, en mV
ΔI	:	Variación de corriente, en A
ϕ	:	Diámetro de la armadura, en mm



ϕ_c	:	Diámetro de la armadura corroída, en mm
ϕ_l	:	Diámetro de la armadura longitudinal, en mm
ϕ_n	:	Factor de minoración
ϕ_o	:	Diámetro de la armadura inicial, en mm
ϕ_t	:	Diámetro de la armadura transversal, en mm
ϕ_{tr}	:	Diámetro de la armadura traccionada, en mm
η	:	Índice de Estallido
λ	:	Índice de Pandeo
λ_{Δ}	:	Factor para deflexiones adicionales debidas a efectos de largo plazo
ρ	:	Resistividad, en Ωm
ρ'	:	Cuantía del refuerzo a compresión evaluada sobre el área transversal, medida en la mitad de la luz para tramos simples y continuos y en el punto de apoyo para voladizos
ρ_s	:	Cuantía de la armadura
ρ_t	:	Cuantía
ξ	:	Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Generalidades

El hormigón armado es la mezcla de cemento, arena, agua y agregados, reforzado con armadura de barras de acero, que se utiliza en la construcción de edificios debido a su gran resistencia y alta trabajabilidad.

Hasta hace algunos años se consideraba que un hormigón armado bien ejecutado tenía una duración prácticamente ilimitada. Ahora bien, tanto la experiencia como las investigaciones llevadas a cabo indican que diferentes agresiones de tipo físico, químico o mecánico, causan el deterioro del mismo y dan lugar a que aparezcan todo tipo de patologías asociadas.

La interacción entre el hormigón y el medio ambiente es el principal factor de deterioro de las estructuras. El desconocimiento del comportamiento de la estructura frente al grado de agresividad del medio donde está ubicada y de los mecanismos de ataque de los agentes agresivos, eran las principales causas de que no se tomaran las medidas adecuadas de protección. Además, existen fenómenos naturales que generan la imposibilidad parcial o total de la capacidad de funcionamiento y ocupación de la estructura, debido a los efectos que ellos producen en la edificación y en conjunto con el deterioro que puede sufrir debido al paso del tiempo.



Es imprescindible realizar, entonces, un estudio de las patologías que pueden localizarse tanto en el hormigón como en la armadura de acero, pues este conocimiento será significativo al momento de identificar los daños y los factores que pueden ocasionar el deterioro parcial o total de una estructura.

La inspección preliminar en un edificio es una primera aproximación que tiene por finalidad analizar el estado actual de la estructura del edificio, establecer la presencia de lesiones o fallas en la estructura principal o secundaria del mismo y la presencia de factores de deterioro en el hormigón.

Los ensayos, en cambio, cumplen un papel fundamental a la hora de ratificar las condiciones y propiedades de los materiales constituyentes, además, de identificar las posibles causas del deterioro constatado en terreno. Otro papel fundamental de los ensayos, es comprobar, si fuese necesario, las posibles pérdidas de resistencia del hormigón y respaldar los antecedentes obtenidos durante la inspección, debido a incertidumbres del evaluador.

Una vez realizadas las inspecciones, obtenidos los datos relacionados con el edificio y el medio ambiente en que está inserto y realizados los ensayos, el evaluador, deberá decidir si realizará una Evaluación Simplificada, una Evaluación Detallada o ambas.

La Evaluación Estructural Simplificada se basa en establecer un nivel del estado actual de la estructura, fundamentado en la ponderación adecuada de diversos aspectos relativos, no sólo a la tipología estructural, sino también al proceso de corrosión a través de un Índice de Corrosión y un Índice Estructural.

La Evaluación Estructural Detallada, por otro lado, consiste en una peritación rigurosa de la estructura, elemento a elemento, teniendo en cuenta los efectos de la



corrosión de las armaduras en la sección mixta hormigón – acero, y un recálculo de la estructura.

Otra metodología para evaluar la seguridad estructural del edificio, es la Evaluación Post Sísmica, que contiene criterios y procedimientos para dictaminar si éste puede tener un uso normal o si su uso debe estar restringido o prohibido, debido a la posible caída o volteo de elementos o al daño estructural existente, riesgo de falla o colapso.

En la actualidad, muchas estructuras de hormigón armado con pocos años de servicio o muy antiguas requieren ser evaluadas estructuralmente debido a su deterioro, a causa de la corrosión, defectos constructivos, catástrofes naturales, u otro factor; cuya finalidad es prevenir riesgos para las personas y determinar el nivel de daño que presenta la estructura para adoptar una propuesta de actuación acorde con los intereses del propietario o mandante.

Sin embargo, los materiales o procedimientos adoptados para reparación pueden no ser los más acertados, es por ello, que se presenta también, una breve orientación para la reparación estructural, con la finalidad de proporcionar los aspectos fundamentales a la hora de realizar una toma de decisión.

La Evaluación Estructural de Edificios de hormigón armado existentes, es abordada mediante una secuencia ordenada desde el Estudio de las Patologías del hormigón armado, pasando por la Inspección y Realización de Ensayos, proporcionando alternativas de Evaluación (Estructural y Post Sísmica) y finalmente estableciendo una breve orientación para la reparación de edificios.



La Figura 1.1 muestra un diagrama de flujo de los contenidos de este trabajo, de manera de presentar la secuencia de la Evaluación.

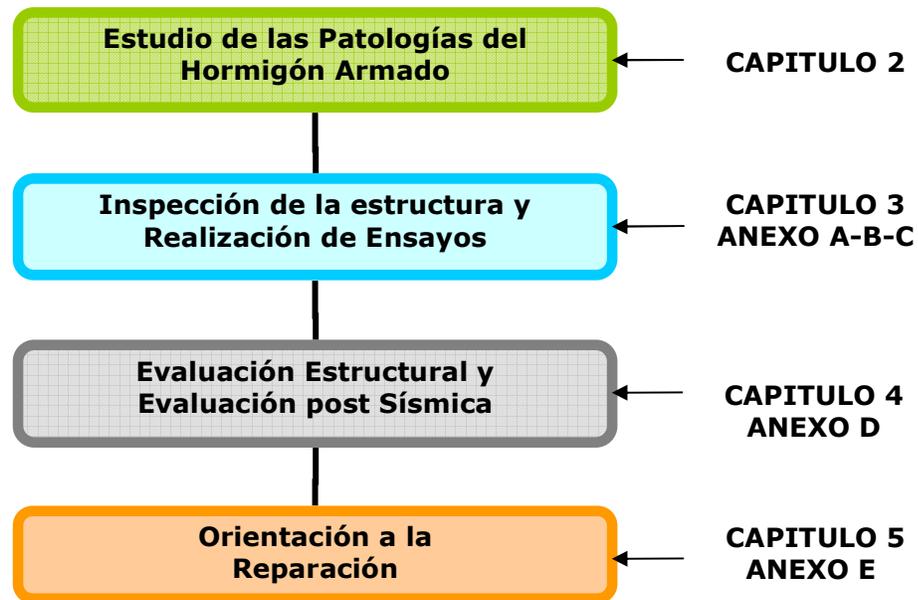


Figura 1.1 Diagrama de Flujo Evaluación Estructural en Edificios



1.2 Objetivo General

El objetivo de esta tesis es estudiar la evaluación estructural de edificios y/o elementos de hormigón armado existentes, estableciendo metodologías y herramientas necesarias para realizar un diagnóstico certero, que sea capaz de constatar el nivel de daño, para determinar una propuesta de actuación o reparación.



1.3 Objetivos Específicos

A continuación se detallan los objetivos específicos que se realizan en esta tesis

1. Investigar las patologías que pueden afectar a edificios de hormigón armado, con el fin de proporcionar los conocimientos necesarios para realizar análisis y diagnósticos eficaces.
2. Definir una metodología para realizar una inspección a edificios de hormigón armado, cuyo propósito es detectar las lesiones y daños existentes en una estructura.
3. Proponer los ensayos a realizar “in situ” o laboratorio a la estructura de hormigón armado, además, de las mediciones que se deben realizar en el edificio, tanto al hormigón como al acero de refuerzo, para determinar el nivel de daño y sus causas.
4. Proponer métodos de evaluación estructural.
5. Presentar algunos esquemas de reparaciones a estructuras de hormigón armado dañadas.



CAPÍTULO 2

PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN ARMADO

2.1 Introducción

Cuando el hormigón armado empezó a ser utilizado en la fabricación de estructuras se pensó que su durabilidad era ilimitada debido a que su apariencia es la de un pétreo, y a la doble protección que reciben las armaduras embebidas en él; por un lado la barrera física que aporta el recubrimiento, y por otro la protección química proporcionada por la alcalinidad del cemento.

Aunque el hormigón tiene la apariencia de ser un material denso y pétreo, es un material poroso que permite la entrada de los líquidos y los gases procedentes del exterior, y su transporte por la red interna de poros.

La porosidad adquirida por el hormigón es debida al exceso de agua necesario en el amasado para hacer trabajable la mezcla y para conseguir una buena hidratación del cemento. Cuando se produce el fraguado, el agua sobrante que contiene el hormigón puede quedar en el interior del mismo o bien evaporarse, dejando una red de poros variados en tamaño. Esta red de poros supone un camino por el cual los agentes externos pueden llegar a dañar tanto al propio hormigón como a la armadura; una relación aproximada supone que la resistencia del hormigón es inversamente proporcional a su porosidad. El volumen total de poros depende, fundamentalmente, de la relación agua – cemento. Cualquier reducción de dicha relación mediante el uso de mezclas y granulometrías adecuadas, o agentes fluidificantes va a repercutir directamente en un aumento de las resistencias mecánicas y de la impermeabilidad.



Por otra parte, el hecho de que el cemento aporte un alto grado de alcalinidad, supone que el hormigón sea un material predispuesto a reaccionar con todos los agentes de carácter ácido que provengan del exterior.

La interacción entre el hormigón y el medio ambiente es el principal factor de deterioro de las estructuras. El desconocimiento del comportamiento de la estructura frente al grado de agresividad del medio donde está ubicada y de los mecanismos de ataque de los agentes agresivos, eran las principales causas de que no se tomaran las medidas adecuadas de protección.

Otro factor, son los fenómenos naturales que generan la imposibilidad parcial o total de la capacidad de funcionamiento y ocupación de la estructura, debido a los efectos que ellos producen en la edificación y el deterioro que puede sufrir debido al paso del tiempo.



2.2 Patologías del Hormigón Armado

La patología es el estudio del comportamiento de las estructuras cuando presentan evidencias de fallas o comportamiento defectuoso, investigando sus causas y planteando medidas correctivas para recuperar las condiciones de seguridad en el funcionamiento de la estructura.

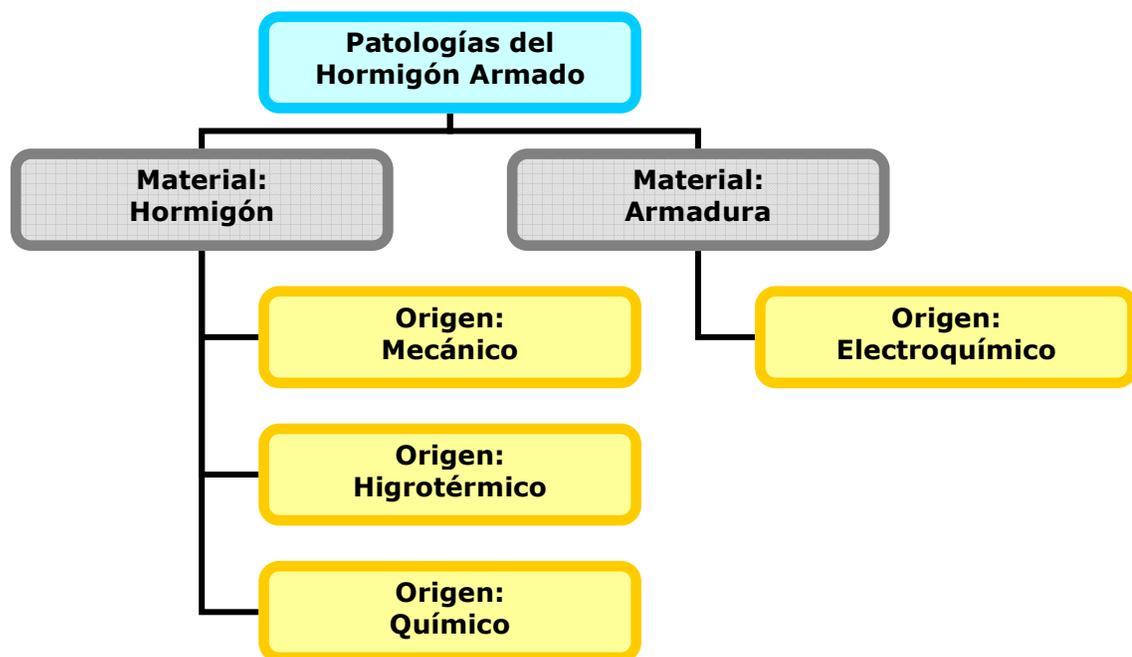


Figura 2.1: Patologías del Hormigón Armado.

2.2.1 Patologías del Hormigón

2.2.1.1 Patologías de Origen Mecánico

Son originadas por falta de resistencia a esfuerzos de tracción o compresión en el hormigón y de tracción en el acero, debido a las acciones que soportan los elementos estructurales y las deformaciones impuestas que sufren.



- **Fisuras y/o grietas**

Las fisuras, son roturas que aparecen generalmente en la superficie del hormigón, por la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia. Cuando la fisura atraviesa de lado a lado el espesor de una pieza, se convierte en grieta.

Las fisuras por origen mecánico son aquellas que aparecen en los elementos estructurales cuando se ha producido el agotamiento del hormigón. Sin embargo, la fisuración no es por sí misma un indicio alarmante, dado que lo habitual es que las piezas de hormigón se fisuren en estado de servicio. De hecho, el estudio de las deformaciones en estructuras flectadas de hormigón, tiene dos estados que se diferencian por que la pieza pasa de un primer estado sin fisurar a un segundo estado fisurado, sin que ello implique problemas patológicos. Para comprobar si realmente corresponde a una situación de alarma, es preciso atender a su evolución.

Formas de las fisuras en el hormigón según las distintas solicitaciones:

Fisuras por esfuerzos de flexión

Las fisuras más accesibles, son las fisuras inferiores de flexión a través de la inspección del ala inferior de las vigas.

a) Fisuración transversal en vigas debido a esfuerzos de tracción

Se presentan en la zona central de la pieza, en la cara inferior, esto es en la zona de máximo esfuerzo flector, y, de ser varias, se presentan repartidas más o menos uniformemente a lo largo de su emplazamiento.



La localización de fisuras de flexión no indica necesariamente el agotamiento o la certeza de insuficiente capacidad resistente de la pieza. Es sobradamente conocida la aparición de esta fisuración en elementos a flexión (especialmente en los de hormigón armado) contemplándose en todos los códigos técnicos e instrucciones, el control de la abertura de las mismas, para las cargas de servicio.

La limitación del ancho de fisura de flexión es un condicionante de durabilidad de la estructura, ya que a mayor cantidad y ancho de las fisuras, se facilita la difusión de agentes que favorecen el desarrollo de procesos de corrosión de la armadura. Para anchos de fisura, menores de 0,3 mm, la abertura tiene poca incidencia en la durabilidad del elemento estructural.

En elementos de hormigón armado, desde el punto de vista de la seguridad estructural, únicamente valores excesivos del ancho de fisura, superiores a 0,4 mm, podrían ser un indicio de insuficiencia de armadura inferior de tracción o de sobrecargas excesivas y, en consecuencia, se consideran lesión de carácter grave, aceptando como leves las de menor amplitud.

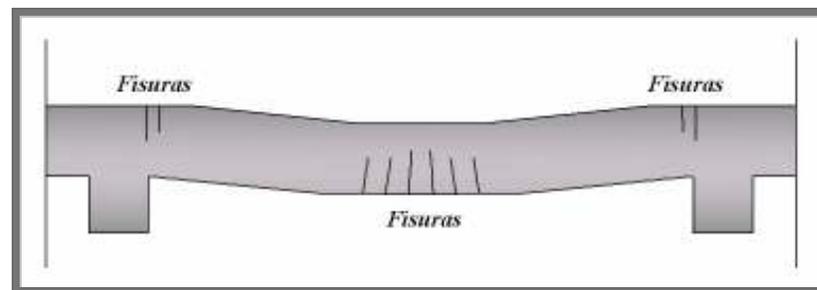


Figura 2.2: Fisuración por tracción.



b) Fisuración longitudinal en vigas debido a esfuerzos de compresión

Esta fisuración es posible de detectar realizando inspecciones específicas al elemento (ya que en general no son visibles) y aun así, presentan cierta dificultad para encontrarlas y reconocerlas, salvo en el caso de que la pieza hubiese fallado. Este tipo de lesión no suele ser usual en losas con capa de compresión, siendo probable en vigas o nervios de losas más antiguos, sin capa de compresión ni continuidad en los vanos o con mal relleno. En este último caso la lesión sería visible y muy grave.

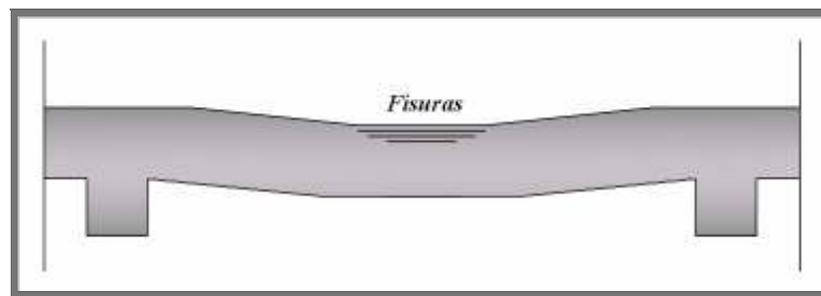


Figura 2.3: Fisuración por compresión.

c) Fisuración inclinada en vigas debido a esfuerzos cortantes

Este tipo de fisuras aparecen cuando se produce el agotamiento de la pieza por esfuerzo cortante debido a algunos de los siguientes mecanismos:

- Compresión oblicua del alma.
- Fallo del anclaje de la armadura transversal.
- Agotamiento por tracción de la armadura transversal.



Se producen cerca de los apoyos, en las caras laterales de las vigas por falta de resistencia a esfuerzos cortantes. Si la pieza se ha roto por corte la fisura alcanza la superficie del ala afectando a todo su ancho e incluso marcándose en el recubrimiento de yeso que pueda existir. De localizarse este tipo de fisuración se puede, previo apuntalamiento, reconocer su carácter abriendo la cara lateral y comprobar la presencia de la fisuración del alma con la clásica inclinación de 45° .

Las lesiones producidas son de carácter grave o muy grave, sobre todo en piezas sin armadura transversal.

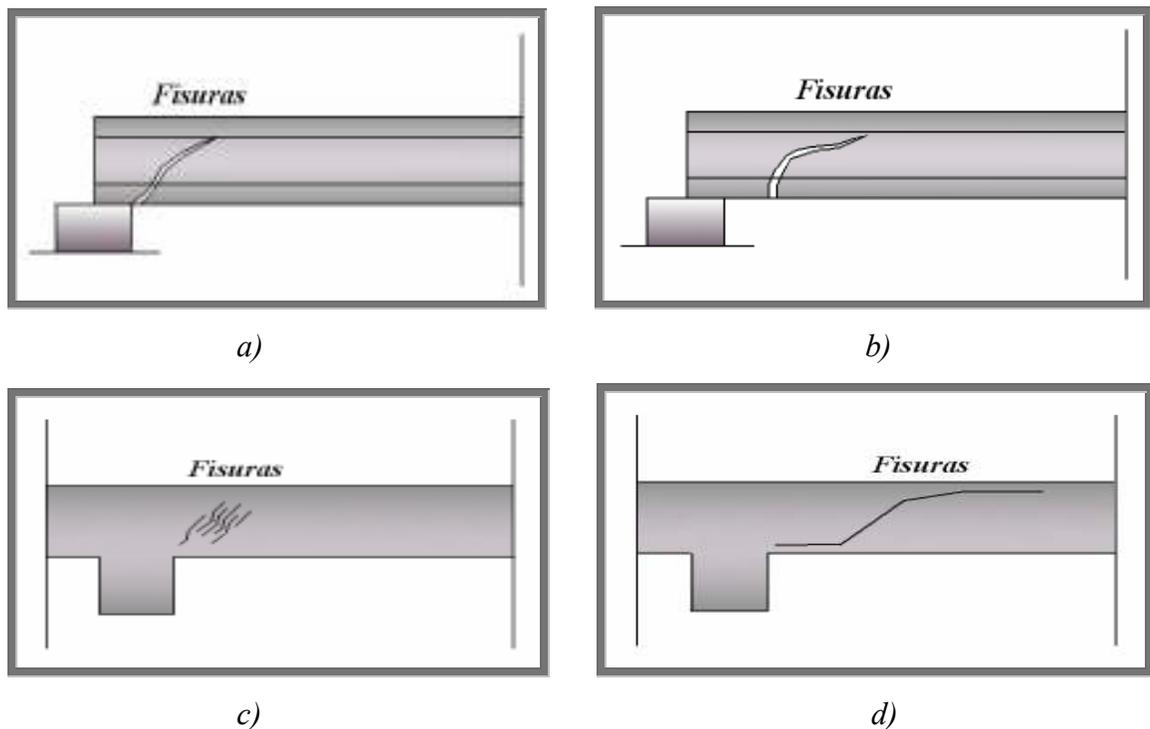


Figura 2.4: Fisuración inclinada en vigas debido a esfuerzos de corte.

- a) Fisuración por agotamiento de la armadura transversal de tracción.
- b) Fisuración por combinación de corte y flexión.
- c) Fisuración por compresión oblicua del alma.
- d) Fisuración por fallo de anclaje.



d) Fisuración longitudinal en losas

Esta lesión se produce, en la zona de momentos negativos, debido a una insuficiente resistencia a flexión, por no disponer de armadura negativa o, aunque esté colocada, se ha desplazado hacia abajo durante el hormigonado. Las fisuras se presentan en la cara superior de la losa a ambos lados de las vigas. Esta lesión se considera de carácter muy grave.

Fisuras por esfuerzos de flexocompresión

Es un tipo de fallo que se produce sobre todo en pilares, al ser elementos estructurales que suelen trabajar a esfuerzos de compresión combinados con los de flexión. Puede provocar la rotura del pilar y el colapso de toda la estructura, ya que tienen poca capacidad de aviso.

a) Fisuración longitudinal en pilares. (Fisuras por compresión)

Se produce en pilares sometidos a importantes esfuerzos axiales y a reducidos momentos flectores. Se caracteriza por la aparición de fisuras verticales, siguiendo la dirección de las armaduras principales, de muy poco ancho y difíciles de ver. Si aparecen en la zona superior del pilar, pueden ser debidas al desplazamiento de los estribos hacia abajo durante la fase de hormigonado y también pueden ocasionar el colapso de la estructura. Este tipo de lesión constituye el mecanismo usual de agotamiento de pilares.

Es considerada como una lesión de carácter muy grave y, por lo tanto, conlleva intervenciones inmediatas.

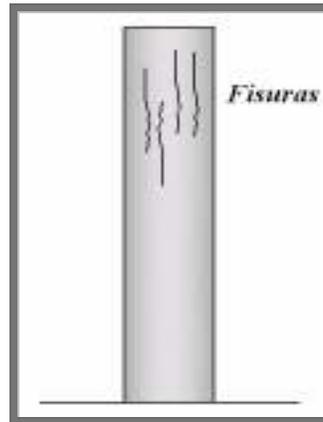


Figura 2.5: Fisuración longitudinal en pilares por compresión.

b) Fisuración inclinada en pilares. (Fisuras por cortante)

A diferencia del tipo de fisuración longitudinal por compresión, no suele presentarse salvo raras excepciones. El colapso se produce por esfuerzo cortante y se caracteriza por la aparición de fisuras siguiendo el plano oblicuo.

Es considerada como una lesión de carácter muy grave y, por lo tanto, conlleva intervenciones inmediatas.

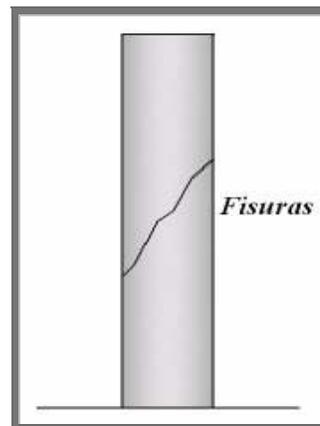


Figura 2.6: Fisuración inclinada en pilares por cortante.



c) Fisuración transversal en pilares. (Fisuras por pandeo)

Se produce en pilares sometidos a importantes momentos flectores y a reducidos esfuerzos axiales, como son los pilares de última planta o los situados en esquina. Se caracteriza por la aparición de fisuras horizontales, siguiendo la dirección perpendicular de las armaduras principales, de ancho variable, cerrándose en la zona comprimida y abriéndose en la traccionada.

Desde el punto de vista de la durabilidad, anchos de fisura, menores de 0,3 mm, se consideran daños leves y graves para valores superiores.

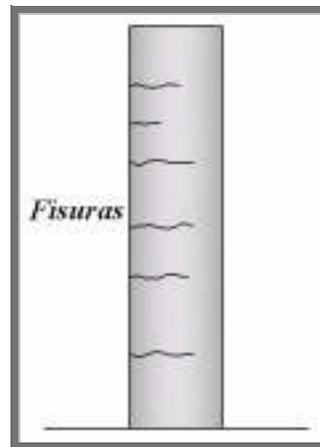


Figura 2.7: Fisuración transversal en pilares debida al pandeo.

Fisuras por torsión

Las fisuras debidas a la torsión aparecen generalmente en las caras de barras sometidas a tal estado tensional; se caracterizan por formar siempre un ángulo de 45° con el eje de aquéllas y por describir un trazado helicoidal.

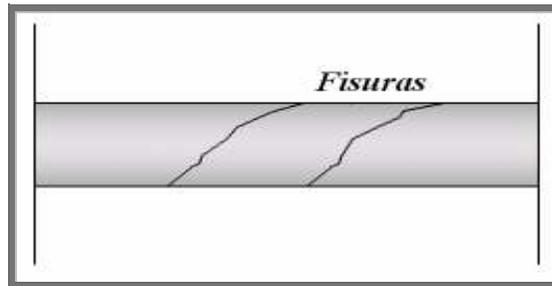


Figura 2.8: Fisuración por torsión.

Fisuras de punzonamiento

Se caracterizan por la formación de una superficie de fractura de forma tronco-piramidal cuya directriz es el área cargada.

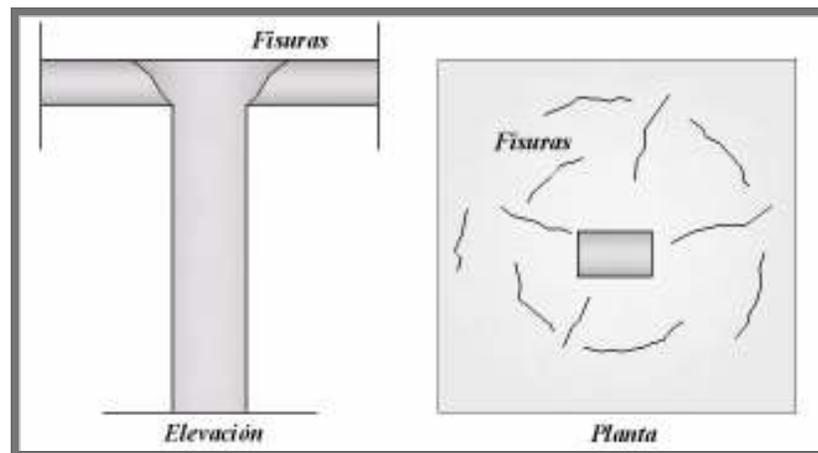


Figura 2.9: Fisuración por punzonamiento.

Influencia de las fisuras en el proceso de corrosión

Las fisuras facilitan la entrada de oxígeno, humedad y agentes clorantes, con lo cual se agrava el problema de corrosión en el hormigón.

La presencia de fisuras transversales, generalmente no causa problemas de corrosión en la armadura, ya que una parte pequeña de la armadura está expuesta a la entrada de agentes externos, sin embargo, fisuras longitudinales provocadas por cualquier razón pueden iniciar un proceso de corrosión.

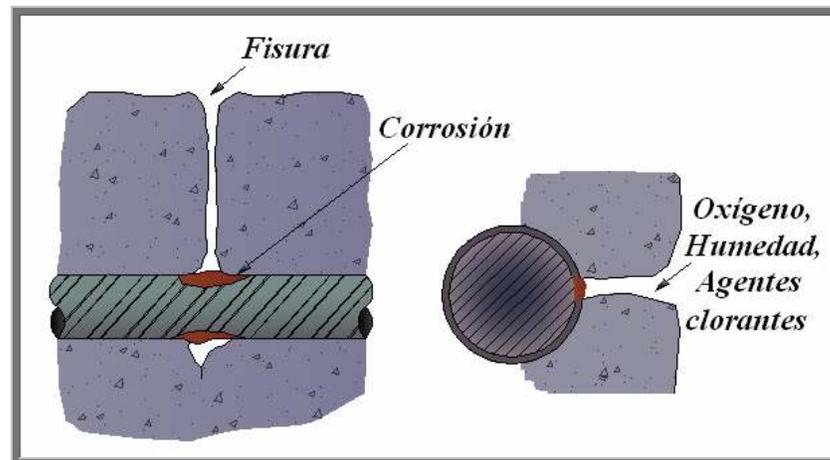


Figura 2.10: Influencia de las fisuras en la corrosión.

- **Deformaciones excesivas**

a) *Fisuración en muros*

La deformabilidad excesiva de las fundaciones, losas o de las vigas, suele traducirse en fisuraciones. El tipo de fisura generada dependerá de la deformabilidad de estos elementos, tanto el superior como el inferior. Si el elemento estructural superior es menos flexible que el inferior, las fisuras tienden a ser horizontales, marcando las zonas traccionadas. Serán verticales o de compresión si ocurre lo contrario y, por último, si ambos elementos tienen una deformabilidad similar las fisuras son inclinadas.



Este tipo de lesión se manifiesta por la presencia de fisuras generalmente de geometría bien definida, pueden considerarse de carácter leve.

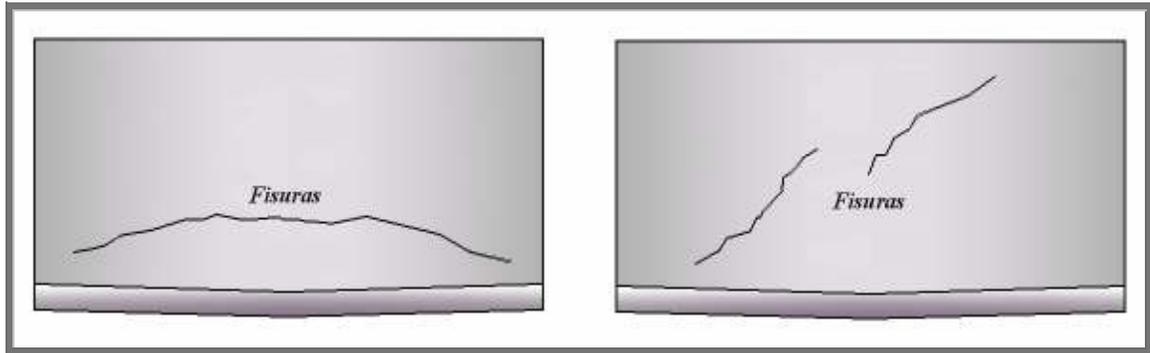


Figura 2.11: Fisuración en muros por deformación excesiva.

2.2.1.2 Patologías de Origen Higrotérmico

Son provocadas por los movimientos generados en el interior del hormigón, debido al contenido de humedad del hormigón y las variaciones de la misma, así como de la temperatura del medio en el que se encuentra la estructura.

- **Manchas de humedad**

Las manchas de humedad en los elementos estructurales de hormigón son el indicador de la existencia de alguna fuga o fallos de impermeabilización. La gravedad del problema dependerá de la presencia de esas manchas a lo largo del tiempo, de manera que un hormigón con unas manchas de humedad esporádicas será menos grave que un hormigón permanentemente húmedo o con presencia de hongos en su superficie.



- **Asentamiento Plástico del Hormigón**

El asentamiento plástico del hormigón está producido por el fenómeno de la exudación y tiene lugar en las tres primeras horas después de verter el hormigón, antes de iniciarse la fase de endurecimiento. Tras la puesta en obra, debido a la exudación, el agua contenida, al tener una densidad más baja, tiende a ascender a la superficie. La exudación produce un asentamiento plástico en una superficie horizontal, tendiendo a descender verticalmente. En general, este tipo de lesión suele aparecer en piezas de espesores importantes y por la presencia de armaduras u otros elementos que coartan el asentamiento plástico.

a) Fisuración longitudinal en losas marcando la posición de la armadura de momento negativo

La exudación produce un asentamiento plástico del hormigón en la cara superior, ya que se va consolidando al descender su superficie verticalmente. La presencia de una determinada armadura coarta el movimiento, produciéndose la fisuración. Estas lesiones aparecen durante la ejecución. Generalmente son fisuras anchas pero poco profundas. Son lesiones de carácter leve, no teniendo excesiva incidencia en el comportamiento estructural.

b) Fisuración longitudinal o transversal en vigas marcando la posición de la armadura principal o estribos

En este caso, las fisuras aparecen porque las armaduras impiden el desplazamiento hacia abajo del hormigón. Al igual que en el caso anterior, las fisuras son anchas pero poco profundas, de carácter leve, no teniendo excesiva incidencia en el comportamiento estructural, aunque pueden afectar la durabilidad del material.



c) Fisuración transversal en pilares marcando la posición de los estribos

En este caso, las fisuras aparecen porque los estribos impiden el desplazamiento hacia abajo del hormigón. Las fisuras son anchas pero poco profundas.

Son lesiones de carácter leve, no teniendo excesiva incidencia en el comportamiento estructural, aunque pueden afectar la durabilidad del material.

- **Retracción Plástica del Hormigón**

La retracción plástica se produce después del hormigonado y antes del fraguado, es decir, entre la primera hora y las seis horas desde el vertido, como consecuencia de una pérdida muy rápida de agua por evaporación, superior al aporte de agua por exudación, en la superficie del hormigón. La pérdida de agua aumenta considerablemente la tensión capilar en la superficie, apareciendo tracciones que fisuran el hormigón. Las fisuras por retracción plástica suelen aparecer en elementos superficiales (losas, soleras, muros,..), son anchas (0,2 a 0,4 mm) pero poco profundas. Normalmente las direcciones que siguen las fisuras coinciden con zonas de menor cuantía, variación de espesor, u otro caso.

a) Fisuras distribuidas aleatoriamente en la cara superior de losas

Para elementos de espesor uniforme, las fisuras suelen aparecer con una mayor aleatoriedad, presentando una distribución más o menos rectangular, cortándose las fisuras con ángulos que tienden a ser rectos.

Son lesiones de carácter leve, no teniendo excesiva incidencia en el comportamiento estructural, aunque pueden afectar a la durabilidad del material.

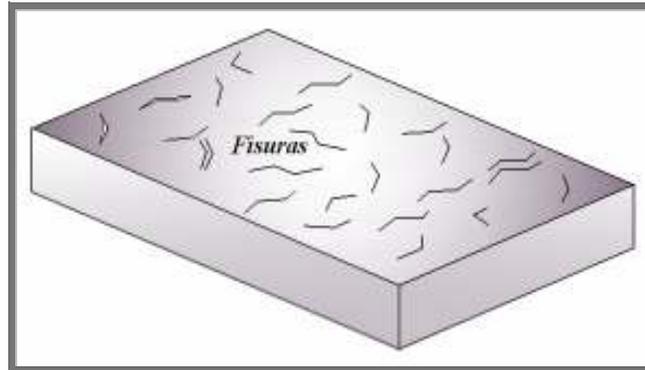


Figura 2.12: Fisuras distribuidas aleatoriamente en la cara superior de losas debido a la retracción plástica del hormigón.

b) Fisuras paralelas en la cara superior de losas

Cuando las barras de armado están próximas a la superficie, aparecen fisuras paralelas, en forma de cresta, a modo de oleaje, sobre las armaduras.

Son lesiones de carácter leve, no teniendo excesiva incidencia en el comportamiento estructural.

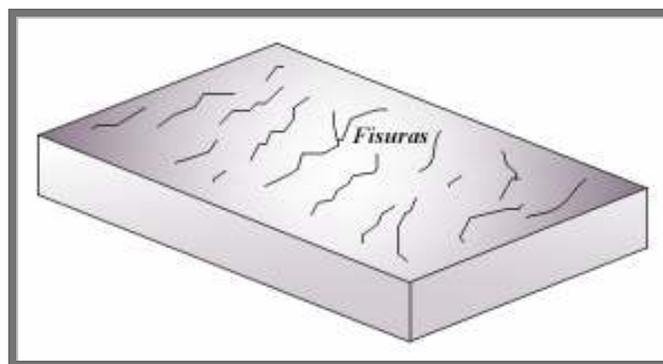


Figura 2.13: Fisuras paralelas en la cara superior de losas debido a la retracción plástica del hormigón.



- **Retracción hidráulica del Hormigón**

La disminución de volumen del hormigón por la pérdida de humedad o secado se conoce como retracción hidráulica. De forma simplificada, el mecanismo de la retracción hidráulica se produce en el hormigón en contacto con la atmósfera, en ambiente no saturado, por evaporación progresiva del agua contenida en los poros capilares. Los meniscos que se forman en los poros tienden a buscar un estado de equilibrio en función de la humedad ambiente y de la concentración de la solución intersticial. El agua de los poros, por tensión superficial se encuentra a presión negativa, originando una tensión en el hormigón que tiende a acortarlo.

Se trata de una deformación a largo plazo que produce el acortamiento de la pieza, y si dicho acortamiento está impedido por determinadas coacciones, aparecen tensiones de tracción que fisuran el hormigón, cuando superan su resistencia. Este tipo de fisuras, también pueden aparecer coincidiendo con cambios bruscos de cuantía mecánica.

Las fisuras de retracción suelen ser de abertura pequeña y uniforme, de 0,05 a 0,2 mm, trazado rectilíneo y su separación es regular. En piezas rectas envolverán a la sección en toda su altura. La aparición de estas fisuras es retardada en el tiempo, al final de la fase de endurecimiento, pudiendo ser semanas, meses, o incluso años.

a) Fisuración transversal en losas

Pueden aparecer cuando están asociadas a vigas que actúan como líneas de coacción, tal como indica la Figura 2.14. Normalmente se presentan uniformemente repartidas a lo largo de la pieza. No se trata de lesiones graves desde el punto de vista de la seguridad, pero las fisuras pueden afectar a la durabilidad del elemento.

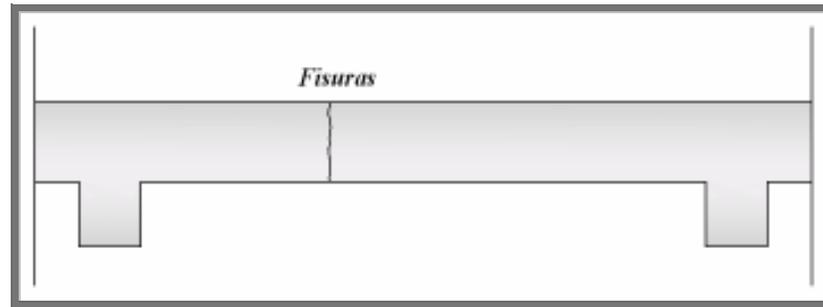


Figura 2.14: Fisuración transversal en losas debido a la retracción hidráulica del hormigón.

b) Fisuración longitudinal siguiendo la dirección de las vigas

Esta fisuración suele aparecer en las zonas de menor espesor de hormigón como es la capa de compresión, produciendo una o varias fisuras de escasa profundidad, pero que, en ocasiones, pueden llegar a atravesarla.

Este tipo de lesión es de carácter leve, aunque puede comprometer la durabilidad del elemento.

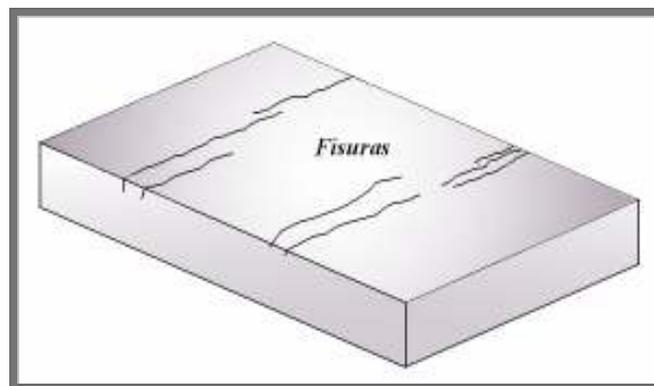


Figura 2.15: Fisuración longitudinal siguiendo la dirección de las vigas debido a la retracción hidráulica del hormigón.



- **Variaciones Térmicas**

Las diferencias de temperatura que puede haber entre diferentes partes de una estructura, debidas a las distintas condiciones ambientales de temperatura, calor o enfriamiento, implican variaciones diferenciales de volumen en ellas, dilataciones y contracciones. Estas variaciones se producirán sobretodo en los elementos en contacto con el ambiente exterior y más en aquellos expuestos directamente a la acción del sol. Si la tensión que provocan estos cambios de volumen llega a ser excesiva, se producirán lesiones y fisuración.

a) Fisuración en losas de cubierta

Las losas de cubierta son los elementos más sensibles a las variaciones térmicas del ambiente, por lo que deben ser objeto de atención especial en una determinada inspección. Los movimientos térmicos de dilatación producen fisuraciones en los tramos centrales de la losa, y a veces puede provocar el colapso de alguna viga. Estas lesiones serán más importantes si el aislamiento térmico es deficiente o inexistente.

Este tipo de lesiones se consideran graves si afectan a la estabilidad o comprometen la durabilidad de algún elemento.

b) Fisuración en la unión de la losa de cubierta con la fachada

Los movimientos de la losa también pueden producir fisuras horizontales en la unión con el cerramiento de fachada, justo en las esquinas del mismo. Esta lesión está generada por la imposibilidad de la fachada de absorber los movimientos de dilatación provocados por las variaciones térmicas. Este tipo de lesión es considerada de carácter leve.



2.2.1.3 Patologías de Origen Químico

Están originadas por reacciones químicas en presencia de agua, en las que los agentes agresivos son transportados, sobre todo desde el exterior, hacia las sustancias reactivas del hormigón. Estas reacciones químicas conducen a un deterioro de la calidad del hormigón.

- **Ataque Químico Árido-Álcali**

Algunos áridos contienen reactivos como la sílice que reaccionan con los álcalis del cemento, dando lugar a la formación de un gel que, en presencia de agua, puede originar una expansión capaz de fisurar el hormigón.

a) Fisuración en estrella

La formación del gel expansivo da lugar a la aparición de un tipo de fisuras en el hormigón con una distribución en forma de estrellas. Estas fisuras, también se identifican por la exudación de un gel cristalino y el hinchamiento de la superficie del hormigón.

Son lesiones de carácter leve desde el punto de vista de la seguridad, aunque pueden comprometer la durabilidad del hormigón.

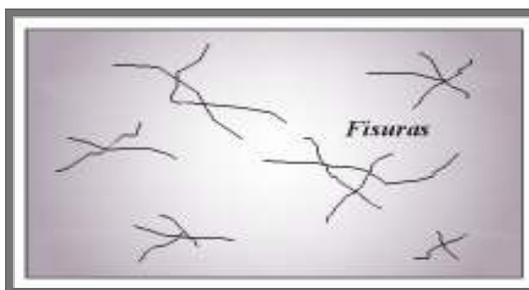


Figura 2.16: Fisuración en estrella por ataque químico árido – álcali.



- **Ataque Químico por sulfatos**

Los sulfatos disueltos en el agua reaccionan con algunos componentes del cemento, (calcio, aluminatos, otros), formando sales expansivas.

a) Fisuración de distribución aleatoria

La formación de sales expansivas provoca la aparición de un tipo de fisuras en el hormigón con una distribución aleatoria. Estas fisuras se identifican por la aparición de depósitos de sales de color blanco en los bordes de las mismas.

Son lesiones de carácter leve desde el punto de vista de la seguridad, aunque pueden comprometer la durabilidad del hormigón.

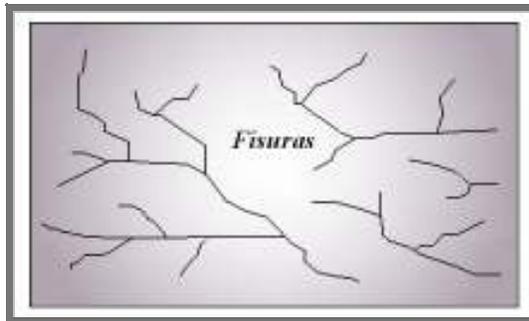


Figura 2.17: Fisuración de distribución aleatoria por ataque químico de sulfatos.

- **Ataque Químico por aguas y ácidos (Lixiviación)**

Es una forma de erosión por lavado continuado de sustancias del cemento hidratado. El caso más conocido es el ataque por aguas puras.



a) Áridos vistos, lavado superficial y descalcificación

La principal consecuencia de la lixiviación es la reducción del espesor del recubrimiento. Si las armaduras quedan vistas, el ácido o el agua pueden alcanzarla y provocar una corrosión importante. Si no hay cloruros presentes en el hormigón, estos ataques impiden el desarrollo de la carbonatación.

Son lesiones de carácter leve desde el punto de vista de la seguridad, aunque comprometen la durabilidad del hormigón.

2.2.2 Patologías de la Armadura

2.2.2.1 Patologías de Origen Electroquímico

Normalmente, están originadas por procesos de corrosión, desarrollados por ataques químicos al hormigón, (carbonatación y contaminación por cloruros), que producen el deterioro de la armadura embebida en él.

- **Factores desencadenantes de la corrosión**

En condiciones normales, el hormigón provee de un ambiente protector al acero de refuerzo ya que su elevada alcalinidad ($\text{pH} > 12.5$) hace que el acero se encuentre en un estado denominado pasivo, siendo su velocidad de corrosión despreciable. Sin embargo, la presencia de agentes agresivos (cloruros, sulfatos y dióxido de carbono (CO_2)) en la superficie de las armaduras puede causar la pérdida de pasividad del acero y crear condiciones propicias para el inicio de la corrosión de las armaduras.

Las armaduras pueden corroerse por los siguientes factores:

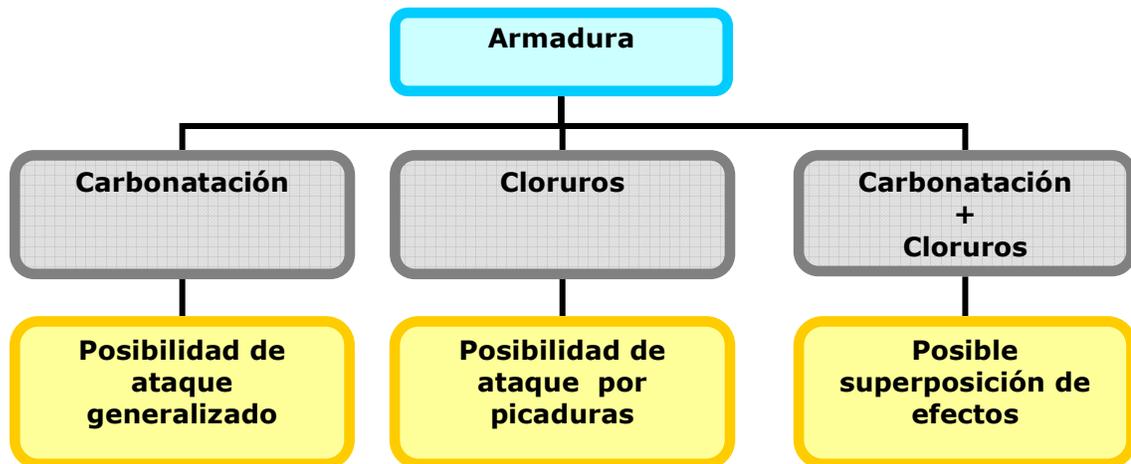


Figura 2.18: Factores que posibilitan la corrosión en la armadura.

Corrosión iniciada por carbonatación

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

Inicialmente el CO_2 no es capaz de penetrar profundamente dentro del concreto, debido a que reacciona con el pH del concreto superficial. Aunque la porción de mezcla externa del concreto se carbonata rápidamente, el CO_2 continúa su ingreso a mayor profundidad y cuando el pH alrededor del acero de refuerzo es cercano a 9, la capa de óxido protector pierde su estabilidad, dando paso a la corrosión del acero.

A la profundidad que el CO_2 ha penetrado y por lo tanto que ha modificado el pH, generalmente se le llama “frente de carbonatación”.



La carbonatación induce una corrosión generalizada como se puede apreciar en la Figura 2.19.

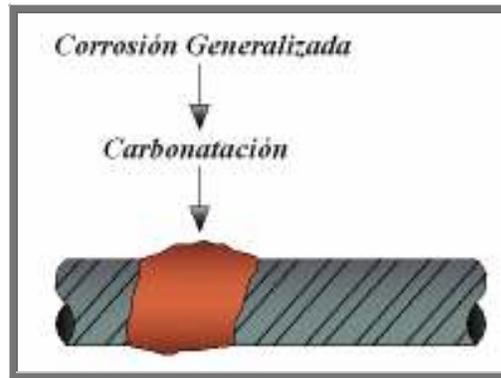
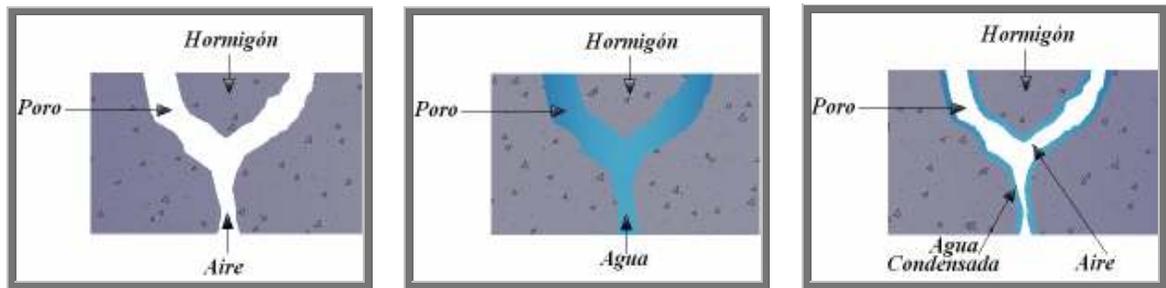


Figura 2.19: Ataque generalizado en la armadura debido a la corrosión por carbonatación.

Penetración de CO_2 al hormigón dependiendo del estado de los poros:

- Si el poro está seco, como se muestra en la Figura 2.20a, el CO_2 se difunde fácilmente, pero la carbonatación no puede ocurrir debido a la falta de agua. Este caso sólo se presenta en concreto que está sobresecado, como ocurre en climas muy secos.
- Si los poros están llenos de agua, Figura 2.20b, hay apenas alguna carbonatación debido a la poca difusión del CO_2 en agua, que es el caso de estructuras sumergidas.
- Si los poros están parcialmente llenos de agua, Figura 2.20c, la carbonatación puede proceder hasta un espesor donde los poros del concreto están secos.



a) Poro seco

b) Poro Saturado

c) Poro Parcialmente lleno de agua

Figura 2.20: Penetración del CO_2 al Hormigón dependiendo del estado de los poros.

Corrosión iniciada por iones cloruro

Los iones cloruro llegan al hormigón porque se añaden con sus componentes (aditivos, agua u otro) durante el amasado, o porque penetran desde el exterior a través de la red de poros, principalmente en ambientes marinos.

El ión cloruro Cl^- penetran en el hormigón a través de la red de poros y se disuelven en el agua que contienen los poros, avanzando hacia el interior por difusión u otros mecanismos. Sin embargo, los iones cloruro disueltos en los poros pueden interactuar con las fases sólidas del hormigón quedando inmovilizados, por tanto, el cloruro dentro del hormigón puede encontrarse en varios estados:

- Cloruro libre: Es el que permanece disuelto en el agua que contiene los poros. Se desplaza por el interior del hormigón mediante difusión u otros mecanismos.
- Cloruro ligado: Es el que permanece unido a las fases sólidas del hormigón. Este cloruro queda inmovilizado, sin posibilidad de moverse hacia el interior del hormigón.



- Cloruro total: Es la cantidad total de cloruro que contiene el hormigón, sin hacer distinción entre cloruro libre y ligado. La concentración de cloruro total en el hormigón es igual a la suma de concentraciones de cloruro libre y ligado.

El cloruro libre es el más peligroso, ya que al quedar disuelto en el agua de los poros, es capaz de despasivar la armadura e iniciar su corrosión, localizándose en determinados puntos del acero, generando un ataque localizado o por picaduras, como muestra la Figura 2.21.

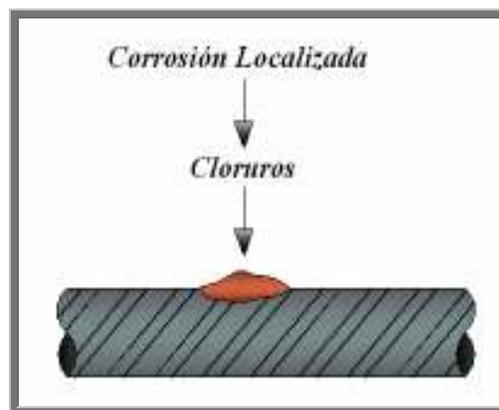


Figura 2.21: Ataque localizado en la armadura debido a la corrosión por cloruros.

Otros factores que influyen en la corrosión de las armaduras

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



➤ *El espesor del recubrimiento*

La protección que confiere el hormigón que recubre las barras de acero de una estructura de hormigón armado, dependerá del grado de impermeabilidad de este, que a su vez estará dada por su compacidad y homogeneidad en esa zona.

En muchos casos esta masa de hormigón no cumple con sus funciones específicas porque suele ser menos compacta y más porosa que el resto del volumen que constituye el elemento. Este fenómeno puede producirse por varias causas, siendo la más importante una mala compactación del hormigón.

El espesor de esta capa de hormigón es importante para garantizar la protección de la armadura, dependiendo del ambiente al cual va a estar expuesto. El código de diseño ACI 318- 2005, en su sección 7.7 recomienda los siguientes recubrimientos mínimos:

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

Tabla 2.1: Recubrimiento mínimo de hormigón sobre la armadura.



➤ *El diseño de mezcla*

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

La relación agua/cemento esta directamente relacionada con la permeabilidad del hormigón, una mayor relación agua/cemento genera un hormigón más permeable y por lo tanto, posibilita la corrosión. La Norma Chilena NCh 170 of.1985, recomienda para casos de exposición severa lo estipulado en la Tabla 2.2.

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

Tabla 2.2: *Máxima razón agua/cemento en casos de exposición severa.*

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



Otros factores influyentes pueden ser el tipo de cemento (finura, cantidad de aluminato tricálcico (C_3A)), el tipo de acero (rugosidad de la superficie, composición química y su condición preoxidada o no), además del curado y compactación (afecta directamente la porosidad), entre otros.

- **Efectos de la corrosión**

La terminología de la ASTM (G15) define la corrosión como *“la reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medio ambiente, que produce un deterioro del material y de sus propiedades”*. Para el acero embebido en el hormigón, la corrosión da como resultado la formación de óxido que tiene de 2 a 4 veces el volumen del acero original y la pérdida de sus óptimas propiedades mecánicas. La corrosión produce además descascaramiento y vacíos en la superficie de refuerzo, reduciendo la capacidad resistente como resultado de la reducción de la sección transversal.

El acero se utiliza en el hormigón armado para aportarle las resistencias a la tracción que son necesarias en el hormigón estructural. Esto evita la falla de las estructuras que están sujetas a esfuerzos de tensión y flexión debido a cargas muertas, sismos, vientos, ciclos térmicos, entre otros. Sin embargo, cuando el refuerzo se corroe, la formación de óxido conduce a la pérdida de adherencia entre el acero y el concreto y la consecuente delaminación y exfoliación.

Todos estos efectos pueden afectar la integridad de la estructura, por lo que es imprescindible realizar revisiones y evaluaciones.

Los efectos de la corrosión sobre estructuras de Hormigón Armado pueden apreciarse en la siguiente Figura 2.22.

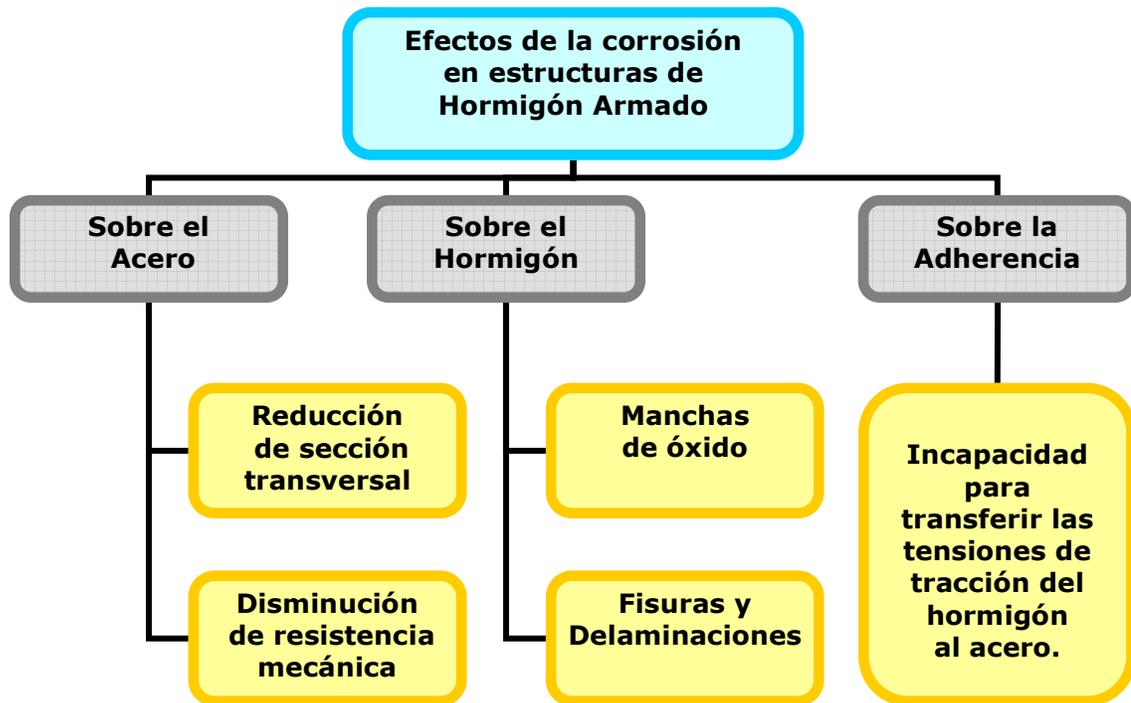


Figura 2.22: Efectos de la corrosión en estructuras de Hormigón Armado.

Fisuras por corrosión de armaduras

En el proceso de corrosión, los iones óxido e hidróxido que se forman tienen un volumen mucho mayor que el de los iones metálicos originales, es así que este aumento de volumen causa altas tensiones que tienden a hacer explotar el hormigón que está alrededor de las barras de refuerzo, resultando en una fisuración radial a éstas. Estas fisuras explosivas se pueden propagar a través de la barra de acero, provocando la aparición de fisuras longitudinales o un astillamiento del hormigón.

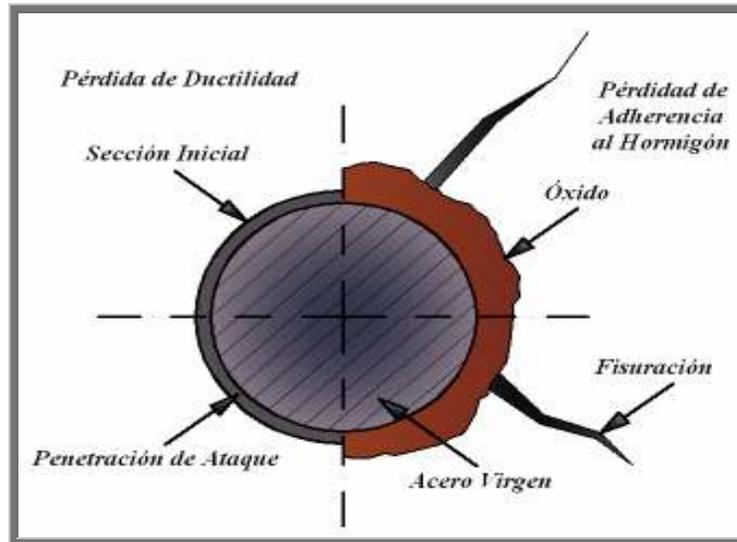


Figura 2.23: Fisuración del hormigón, radial a las barras de refuerzo.

a) Fisuración longitudinal marcando la posición de la armadura principal

Es debida a procesos de corrosión de las armaduras y en procesos avanzados incluso se puede ocasionar pérdida parcial de recubrimiento. La generación de óxido en el proceso corrosivo implica, lógicamente, la pérdida de sección de acero en las armaduras y, por tanto, la pérdida de capacidad resistente de forma progresiva; de ahí el carácter grave de estas fisuras.

Cabe indicar que la corrosión de armaduras se presenta probablemente como el mayor porcentaje en cuanto a las lesiones que suelen aparecer en estructuras existentes.

La gravedad del daño está en función de la pérdida de sección de la armadura y la pérdida de adherencia de ésta con el hormigón, circunstancia difícil de evaluar.

En muchos casos la evaluación del daño y por ende el nivel de actuación que se derive estará supeditado a la inspección mediante cata para cuantificar el orden de magnitud de la pérdida de sección de la armadura.



En elementos armados se considerará de carácter grave cuando se observe pérdida considerable de sección, y de carácter leve cuando se observe ligera pérdida de sección. La experiencia acumulada en los últimos años indica que este tipo de lesión es la más frecuente y con una mayor incidencia en elementos fabricados con cemento aluminoso.

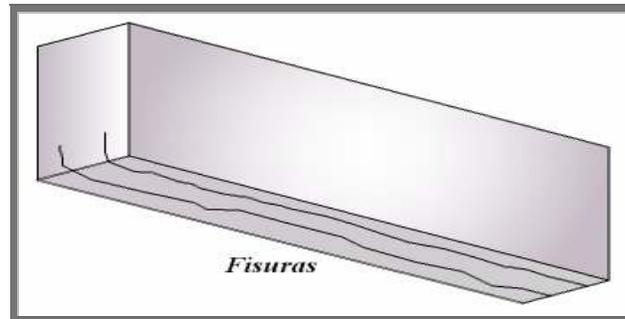


Figura 2.24: Fisuración longitudinal marcando la posición de la armadura principal.

b) Fisuración transversal marcando la posición de los estribos

Se producen fisuras marcando la localización de los estribos y son debidas a oxidación o corrosión de los estribos o armaduras de posicionamiento por falta de recubrimiento o por carbonatación del mismo y, generalmente, van acompañadas de manchas de óxido.

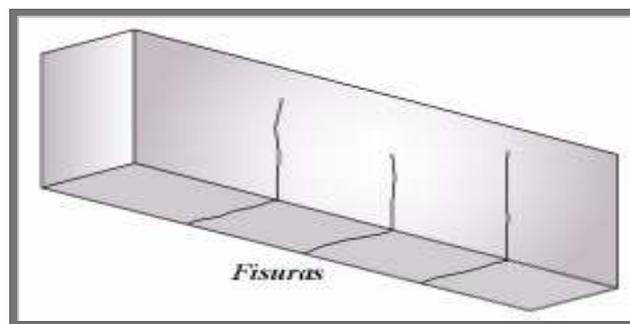


Figura 2.25: Fisuración transversal marcando la posición de los estribos.



Manchas de óxido marcando la posición de las armaduras

Indican la existencia de corrosión, o el inicio de la misma, de forma más o menos local o generalizada. Puede haber pequeñas manchas, regularmente espaciadas marcando la posición de los estribos que forman la armadura transversal, en una viga o un pilar.

Las manchas de óxido se pueden extender, indicando la existencia de un proceso de corrosión de las armaduras principales. Manchas muy concentradas en determinados puntos, pueden suponer la presencia de corrosión por picaduras en la armadura.

Este tipo de lesión puede considerarse de carácter leve, aunque son indicativas de posibles afecciones futuras, por tanto, requieren un seguimiento de su evolución.

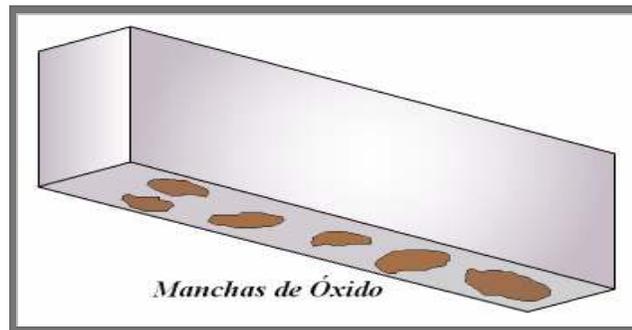


Figura 2.26: Manchas de óxido marcando la posición de las armaduras.

Reducción de la sección de la armadura de acero

El primer efecto directo de la corrosión en un elemento de acero, es la disminución de su sección debido al propio proceso. La corrosión también puede reducir el alargamiento del acero sometido a la máxima carga y puede afectar en consecuencia la ductilidad de la estructura, haciendo por lo tanto estructuras más sensibles a la rotura frágil.



Dependiendo de las características del agente agresivo, la corrosión de las armaduras y su influencia en la sección transversal es muy diferente. Mientras la carbonatación del hormigón provoca una penetración de ataque homogénea, el ataque por cloruros produce ataques localizados conocidos como picaduras que llevan a una reducción significativa de la sección transversal.

Reducción de la tensión de adherencia entre armadura y hormigón

La acción combinada del hormigón y acero en la sección de hormigón armado, está basada en la adherencia entre ambos materiales, que se ve afectada por la corrosión a través de diversos mecanismos:

- Fisuración en el hormigón.
- Cambios de las propiedades de la interfaz acero-hormigón.
- Corrosión de los estribos.

La velocidad de desarrollo de estos fenómenos es función de parámetros diferentes como la intensidad de la corrosión actual, el tipo de agresivo, la humedad medioambiental, el tiempo desde que el periodo de la propagación ha comenzado, y el despiece de armadura o idoneidad de detalles estructurales.



CAPÍTULO 3

INSPECCIÓN VISUAL Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS A ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

3.1 Introducción

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

Los resultados de esta inspección provienen de un reconocimiento visual, que luego se complementarán con pruebas o ensayos "in situ" o de laboratorio sobre sus materiales componentes.

Esta inspección indicará en consecuencia:

- a) Si existen fallos o lesiones que aparentemente requieran un refuerzo o apuntalamiento inmediato de la estructura, debido a su peligrosidad y de una evaluación estructural.
- b) Si existen fallos o lesiones que aparentemente no requieran un refuerzo o apuntalamiento inmediato de la estructura, pero se recomienda una evaluación estructural.
- c) Si no existen fallos o lesiones aparentes o no es necesaria actuación inmediata, por lo que es innecesaria una evaluación estructural.



La Figura 3.1, muestra en detalle el proceso de Inspección Visual y Realización de Ensayos.

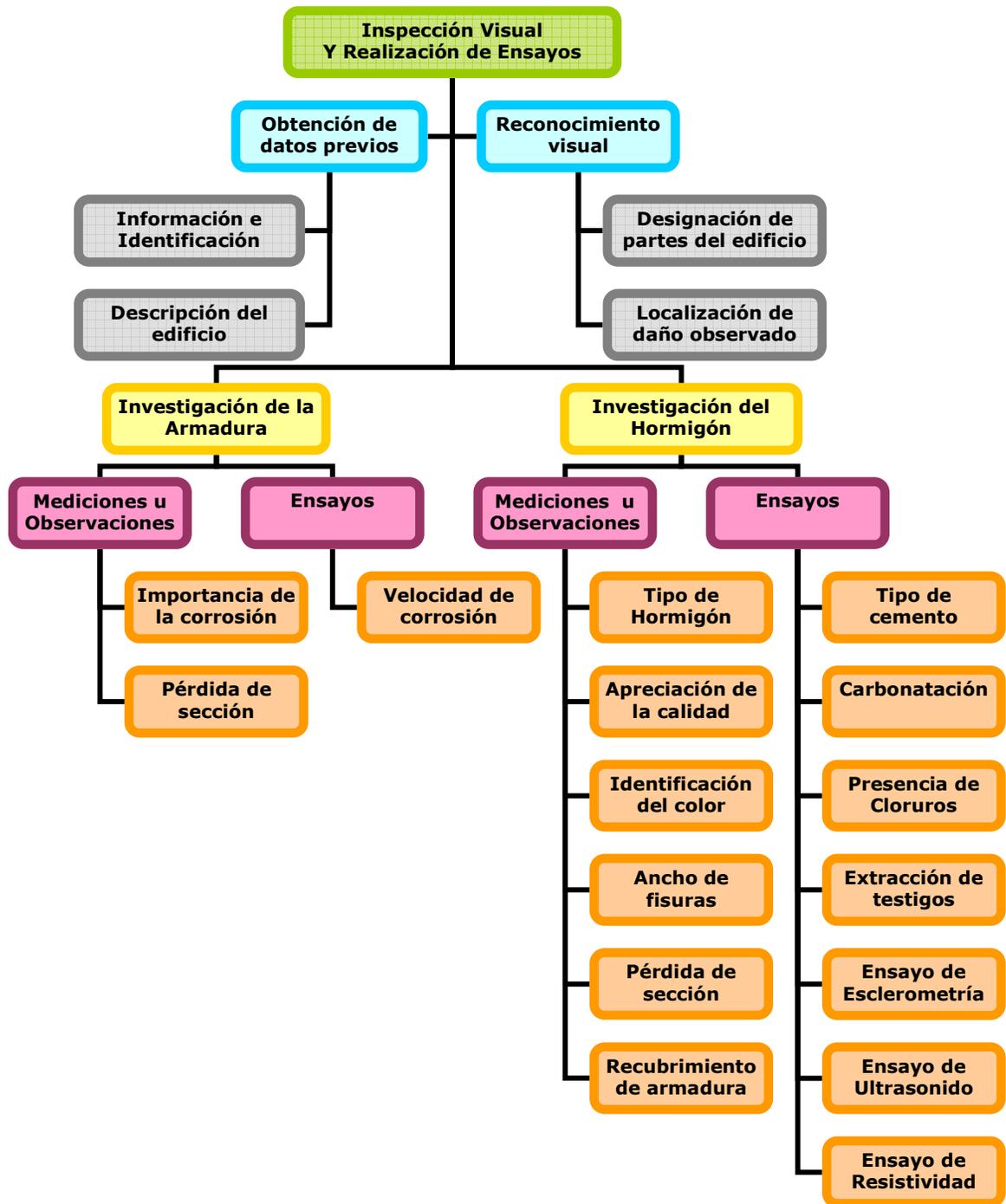


Figura 3.1: Proceso de Inspección Visual y Realización de Ensayos.



3.2 Obtención de datos previos

- ***Información e identificación***

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

Datos particularmente interesantes pueden ser:

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

- ***Descripción del edificio.***

Se refiere a los datos que se han de elaborar, basándose en la información recogida y en la propia visita o visitas de inspección.

El contenido debe ser descriptivo de la tipología edificatoria y no contener indicación de los daños o lesiones, que son objeto del siguiente apartado. En el caso de que no exista información gráfica es necesario generarla a lo largo del proceso.



La descripción escrita debe incluir:

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

3.3 Reconocimiento visual del edificio

Objetivo

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

Material

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



Generalidades

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

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

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

Designación de partes del edificio.

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

En una sección esquemática han de numerarse los niveles, a partir del 01, empezando por el más bajo e independientemente de que sean de sótano, u otros usos, deben numerarse correlativamente desde el primero hasta el último nivel. Sobre un croquis de la planta del edificio, se identificarán columnas, vigas u otros elementos, asignándole una numeración correlativa, por ejemplo: para Columnas (C N° 01, C N° 02,...) y para Vigas (V N° 01,...), etc.



Realización del reconocimiento visual

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

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

En el reconocimiento visual de las distintas unidades de inspección, se realizará una calificación del daño observado en cada elemento inspeccionado. Las posibles calificaciones a asignar a cada daño observado son las siguientes: Despreciable, Bajo, Moderado y Alto, de acuerdo a lo indicado en las Tablas C.1, C.2, C.3, C.4 y C.5. (Ver Anexo C).



3.4 Realización de Pruebas y Ensayos

Objetivo

Realizar inspecciones y extraer muestras de hormigón de los elementos seleccionados para realizar sobre ellos las pruebas y ensayos correspondientes, tanto in situ como en laboratorio.

Material

- Cincel, martillo, taladro, escalera o andamio, cámara fotográfica, instrumentos de medición (pie de metro o huincha métrica), linterna, material para limpieza de superficies (brocha, paños)

Generalidades

Además de identificarse los daños observados por inspección visual, según el apartado anterior, se debe estimar el deterioro de los materiales componentes mediante realización "in situ" de toma de muestras y pruebas, completándose con ensayos de laboratorio.

Se toman muestras con el objetivo de obtener la siguiente información:

- Conocer el tipo de hormigón utilizado.
- Estimar la calidad aparente del hormigón.
- Conocer el tipo de armadura (activa o pasiva).
- Determinar el espesor del recubrimiento.
- Determinar la profundidad del frente carbonatado.
- Graduar la importancia de la corrosión.



- Medir la pérdida de sección en las armaduras.
- Determinar el tipo de cemento.
- Determinar el contenido en cloruros.
- Realizar ensayos de resistencia a compresión.
- Otros.

Muestreo

Las muestras deben extraerse de unidades de inspección distintas, repartiéndolas de la manera más representativa. Preferentemente se realizarán las pruebas y se extraerán las muestras en elementos situados en áreas de mayor riesgo como recintos húmedos o elementos con exposición al exterior.

Para ilustrar el aspecto de cada muestra, ha de realizarse una fotografía que contenga la identificación de la misma.

Pruebas y Ensayos. Análisis de resultados

Los ensayos y pruebas se refieren a los diferentes aspectos o parámetros del elemento estructural y sus materiales componentes, y serán realizados en terreno o en la muestra extraída.

A continuación se describen las distintas pruebas y ensayos a realizar para la obtención de los distintos parámetros así como los criterios para la calificación de los resultados obtenidos:



a) Tipo de cemento

De cada muestra extraída se realizará la caracterización del tipo de cemento mediante ensayo de la oxina y sulfatos de acuerdo a lo estipulado en el Anexo A.1, básicamente estos ensayos tienen la finalidad de determinar si el cemento utilizado es aluminoso o no.

El cemento aluminoso es un cemento resistente a los sulfatos, con otras propiedades importantes como son: endurecimiento rápido, altas resistencias mecánicas iniciales y resistencia al calor, muy utilizado entre los años 1950 y 1980.

La presencia de cemento aluminoso en la composición, supone un riesgo adicional demostrado, toda vez que se acelera el proceso de carbonatación del hormigón y se disminuyen los tiempos de despasivación de las armaduras. Por consiguiente puede alcanzarse la corrosión de las mismas con mayor rapidez.

b) Tipo de hormigón

Es importante reconocer el tipo de armadura, pasiva o activa, que indica si el elemento estructural ha sido fabricado con hormigón armado o pretensado respectivamente.

Aunque puede existir cualquier nivel de corrosión en hormigones armados y pretensados, se ha comprobado que, en una misma obra y con agresividad ambiental análoga, los hormigones pretensados han tenido un mejor comportamiento y han protegido mejor a la armadura, seguramente por una mejor calidad del hormigón, necesaria para poder aplicar la técnica del pretensado.



c) Aspectos cualitativos de hormigón

c.1) Apreciación de la calidad del hormigón

Puede estimarse si existe una fuerte resistencia a la demolición al proceder a la rotura de un trozo del elemento estructural para extraer la muestra. Es también interesante la observación de la fractura para detectar la presencia de partículas sueltas y aspecto terroso que indicaría un hormigón de baja calidad.

La forma de la fractura indica si los áridos se han roto o se presentan intactos. La presencia de áridos rotos indicaría que la matriz de cemento presenta resistencia a fractura igual o superior a la de los áridos, lo que presupone normalmente un hormigón de buena calidad. Por el contrario la presencia de áridos intactos dejando su huella en el mortero es indicativo de una baja resistencia de la matriz de cemento y, por tanto, del hormigón.

El resultado será clasificar la calidad aparente como buena o mala.

c.2) Color del hormigón

El color superficial puede indicar la uniformidad o no del conjunto de las armaduras y ayudar para contrastar datos con los resultados del ensayo tipo de cemento, distinguiendo entre gris claro u oscuro o marrones y ocre. El color interior puede indicar la presencia de cemento aluminoso, pero es un indicador indirecto y poco fiable del tipo de cemento, que se determina mejor mediante ensayos.

La Figura 3.2 muestra el color superficial o interior que puede adoptar el hormigón dependiendo de si está compuesto por cemento Pórtland o Aluminoso. El Anexo B contiene la tabla de colores de acuerdo a su código, para ser utilizada durante la inspección.



Figura 3.2: Coloración Superficial e Interior que adopta el hormigón de acuerdo al tipo de cemento utilizado.

Fuente: Recomendaciones para el reconocimiento sistemático y la diagnosis rápida de forjados construidos con cemento aluminoso, Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.

d) Presencia de carbonatación

La carbonatación del hormigón puede inducir la corrosión de la armadura. Dada la importancia de este factor de deterioro es imprescindible determinar la profundidad del frente carbonatado, aún cuando sobrepase la armadura, para poder estimar cuanto tiempo ha estado el acero despasivado.

La realización de la prueba se efectuará, según el procedimiento de solución de fenolftaleína descrito en el Anexo A.2, después de la toma de la muestra se anotará el espesor del recubrimiento mínimo y la profundidad del frente carbonatado, para lo que habrá que profundizarse en el hormigón hasta encontrar el que no esté carbonatado, o al menos superar el doble del espesor de recubrimiento de la armadura.



e) Ancho de fisuras y desprendimiento en lajas

Se procederá a la localización de fisuras en la superficie del elemento estructural, y a la medición del ancho de fisura. En el enlucido de yeso, suelen aparecer fisuras que pueden corresponder simplemente a la junta o pueden ser fisuras inducidas por corrosión de la armadura, por lo que conviene distinguir su origen.

Las fisuras debidas a la acción de la corrosión pueden indicar distintos niveles de daño según el ancho de la fisura. El desprendimiento en lajas (spalling) del recubrimiento de hormigón de las armaduras, se produce con una corrosión avanzada y el daño puede estimarse como alto, no sólo por afectar al material en sí mismo, sino por la pérdida de capacidad resistente del elemento.

f) Importancia de la corrosión determinada visualmente

La importancia de la corrosión que presenta la armadura, es una apreciación fiable. Una manera de graduarla para obtener resultados operativos se indica a continuación.

f.1) Nivel de daño despreciable

No existe óxido visible. Las armaduras tienen una superficie lisa y brillante.



Figura 3.3: Corrosión de la armadura: Nivel de daño despreciable.

Fuente: Manual de Armaduras de refuerzo para hormigón, Gerdau Aza.



f.2) Nivel de daño bajo

Óxido superficial sin aparente pérdida de sección. En la superficie de las armaduras aparecen zonas manchadas de óxido, con una textura ligeramente áspera.

El color puede ser marrón claro o anaranjado, o bien oscuro. El primero indica corrosión con abundancia de oxígeno mientras que el segundo tipo se produce con limitación de oxígeno. En armaduras de elementos resistentes, el segundo es el más frecuente mientras que en aceros al aire libre o con exceso de recubrimiento, puede producirse el primero.

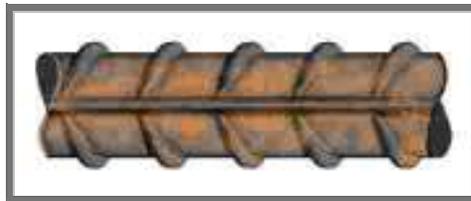


Figura 3.4: Corrosión de la armadura: Nivel de daño bajo.

Fuente: Manual de Armaduras de refuerzo para hormigón, Gerdau Aza.

f.3) Nivel de daño moderado

Óxido en capa fina con ligera pérdida de sección. Las armaduras tienen una textura rugosa, han aumentado su volumen ligeramente debido a la fina capa de óxido que se ha formado, la cual presenta un color marrón oscuro, una apariencia pulverulenta y no puede desprenderse fácilmente con la mano, pero sí con un cepillo de púas.

El espesor fino de la capa de óxido indica asimismo escasa pérdida de sección. No obstante, la importancia de dicha pérdida está en relación al diámetro original de la barra afectada. Puede ser conveniente proceder a la medida de la pérdida de sección de las armaduras por calibración de diámetro, previo raspado y supresión del óxido que exista.



Figura 3.5: Corrosión de la armadura: Nivel de daño moderado.

Fuente: Manual de Armaduras de refuerzo para hormigón, Gerdau Aza.

f.4) Nivel de daño alto

Óxido en capa gruesa con pérdida de sección considerable. Las armaduras tienen una textura muy rugosa y áspera, han aumentado su volumen de forma considerable debido a la capa gruesa de óxido que se ha formado, la cual presenta un color muy oscuro. El óxido puede desprenderse fácilmente con la mano en partículas o, incluso, si la pérdida de sección es muy elevada, se pueden extraer trozos de la propia armadura que ha quedado transformada en óxido.



Figura 3.6: Corrosión de la armadura: Nivel de daño alto.

Fuente: Manual de Armaduras de refuerzo para hormigón, Gerdau Aza.

g) Pérdida de sección de la armadura

La detección de corrosión con pérdida de sección debe considerarse una lesión cuya gravedad depende del porcentaje de sección de armadura perdido y de si es hormigón armado o pretensado.



Las dificultades para evaluar la pérdida de sección en una armadura son consecuencia de dos hechos:

g.1) En general no se conoce la sección real inicial de la barra, sólo se puede suponer la nominal.

g.2) La medida en obra realizada con un calibre de precisión no mejor en general de cinco centésimas de milímetro, hace que las pérdidas de sección sean difíciles de evaluar. Así, una disminución de radio de 0,05 mm, en la práctica el límite medible, supone una pérdida de: un 1,2% de sección en una barra de 16 mm, del 2,0% de sección en una barra de 10 mm y de un 3,3% en una barra de 6mm, lo que supone una posibilidad de error no despreciable.

De lo anterior se deduce que ignorando el dato inicial y estimando el dato final con dificultades, el valor obtenido ha de ser considerado con prudencia. No obstante no puede negarse la importancia de este parámetro aún con las anteriores salvedades. La Figura 3.7 muestra la reducción de la sección de armadura mediante corrosión generalizada y localizada,

Dónde,

P_x : Penetración de ataque de corrosión.

ϕ_c : Diámetro de la armadura corroída.

ϕ_o : Diámetro de la armadura, inicial.

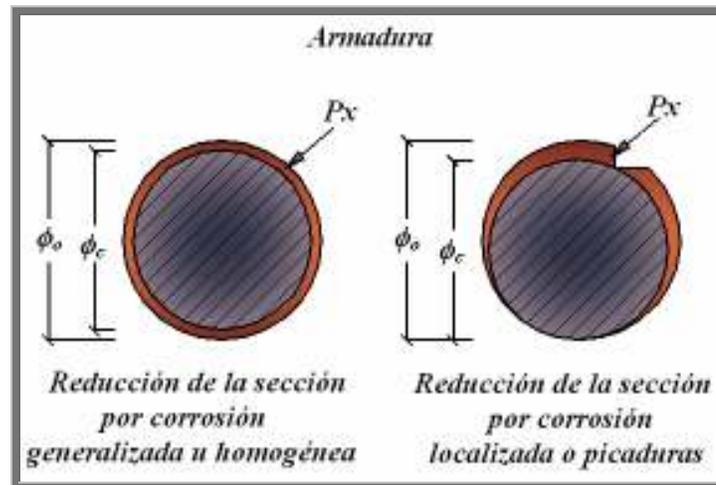


Figura 3.7: Pérdida de sección de la armadura.

h) Presencia de cloruros

Sobre las muestras de hormigón, extraídas y enviadas al laboratorio se realizará la determinación de presencia de cloruros en exceso, descrito en el Anexo A.3. Las muestras elegidas para este ensayo deben ser representativas.

Un alto contenido en cloruros es un importante factor de deterioro que da lugar a un tipo especial de corrosión.

i) Pérdida de la sección de hormigón

El hormigón puede sufrir reducciones de sección debido al desprendimiento del recubrimiento, esta reducción puede generarse en el canto útil o el ancho del elemento estructural, como muestra la Figura 3.8.

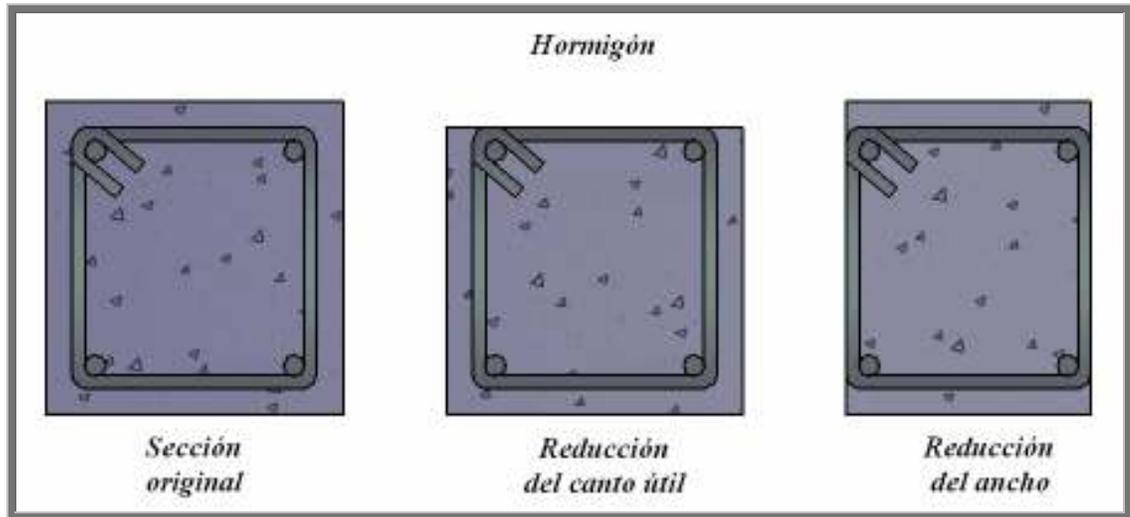


Figura 3.8: Pérdida de la sección de hormigón.

j) Medición del recubrimiento de la armadura

El recubrimiento actúa como una barrera física entre la armadura y el ambiente al que se encuentra expuesta la estructura. Dependiendo de sus características, el acceso de los agresivos que provocan corrosión se producirá más o menos rápidamente.

Por ello, al realizar la inspección, es necesario anotar el espesor del recubrimiento mínimo localizado, expresado en mm. En la Figura 3.9 se puede apreciar la medición del recubrimiento mínimo, denominado r .

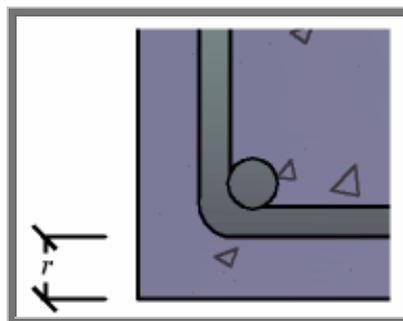


Figura 3.9: Medición del recubrimiento de la armadura.



k) Ensayos destructivos

Básicamente, consiste en la extracción de testigos de una estructura, de forma cilíndrica, y extraídos en lugares que sean representativos del hormigón circundante.

Con cada probeta, se puede realizar la evaluación a compresión para obtener la resistencia característica del hormigón, además de efectuar pruebas de carbonatación, cloruros y tipo de cemento.

La descripción de la Extracción de Testigos de hormigón y el Ensayo a Compresión de Probetas Cilíndricas se especifica en el Anexo A.4.

l) Ensayos no destructivos

Las ventajas de los ensayos no destructivos radican en su relativa simplicidad, rapidez y en la posibilidad de realizar un gran número de determinaciones sobre la estructura. De esta manera es factible evaluar la homogeneidad de la misma sin comprometer su integridad.

Algunos de estos métodos no destructivos tienen amplia difusión, y son utilizados en forma combinada o como complemento de evaluaciones realizadas mediante ensayos destructivos. Entre los ensayos de mayor difusión se pueden mencionar: Ensayo de Esclerometría, Ensayo de Ultrasonido, Velocidad de corrosión y Resistencia eléctrica, los cuales se especifican en el Anexo A.5.



CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DE UN EDIFICIO

4.1 Introducción

La metodología de evaluación propuesta en este capítulo esta dividida en dos tipos: Evaluación Estructural y Evaluación Post Sísmica.

La Evaluación Estructural considera la realización de ensayos y mediciones, inspecciones y, si es necesario, el recálculo de la estructura lo cual puede demorar bastante tiempo. Es por ello, que se propone una metodología alternativa para evaluar edificios post sismo, que considera un procedimiento ágil que permita de forma expedita cubrir el mayor número de estructuras en poco tiempo. Este procedimiento puede considerarse complementario a la evaluación estructural, si se considera preciso.

La Evaluación Estructural, se puede realizar mediante *Evaluación Simplificada* y *Evaluación Detallada*. Ambas son complementarias, aunque también pueden ser consideradas cada una operativa por sí misma.

La *Evaluación Simplificada* se basa en establecer un nivel del estado actual de la estructura, fundamentado en la ponderación adecuada de diversos aspectos relativos, no sólo a la tipología estructural, sino también al proceso de corrosión a través de un Índice de Corrosión y un Índice Estructural.

La *Evaluación Detallada*, por otro lado, consiste en una peritación rigurosa de la estructura, elemento a elemento, teniendo en cuenta los efectos de la corrosión de las armaduras en la sección mixta hormigón – acero, además del recálculo de ésta.



La Evaluación Post Sísmica, es una forma más sencilla y económica (al no requerir ensayos) de realizar una Evaluación, la que se ha utilizado en Chile para conocer el estado de diversas estructuras de hormigón armado.

Para realizar una evaluación rápida y efectiva con respecto a la seguridad del edificio a analizar se debe efectuar una adaptación de los criterios utilizados en el “Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones”, basado en el Informe del proyecto 1720 del Instituto de Ingeniería UNAM, debido que a través de la información obtenida con este procedimiento de inspección se puede lograr una estimación general de las principales características de daño que tiene la estructura, considerando que la estructura ha soportado eventos sísmicos.

Esta metodología para evaluar la seguridad estructural del edificio, contiene criterios y procedimientos para dictaminar si éste puede tener un uso normal o si la entrada a éste debe estar restringida o prohibida, debido a la posible caída o volteo de elementos o al daño estructural existente; y se divide en dos metodologías *Evaluación Post Sísmica Rápida* y *Evaluación Post Sísmica Detallada*.

La *Evaluación Post Sísmica Rápida* se basa en observar las condiciones de daño que individual o colectivamente sean suficientes para que la edificación se clasifique como Cuidado o Insegura, revisando las evidencias de fallas en la estructura, como derrumbe parcial, inclinación, daño severo en columnas, vigas u otro, así como las condiciones del suelo alrededor de la edificación que podrían llevar a clasificarla como insegura.

La *Evaluación Post Sísmica Detallada* consiste en un examen detallado de la edificación, en el interior y exterior, en particular en su sistema estructural, pretendiendo evaluar si existe la posibilidad de derrumbe estructural o peligro de caída de elementos estructurales y no estructurales.



4.2 Evaluación Estructural

4.2.1 Evaluación Estructural Simplificada

Una vez realizada la fase de Inspección y Realización de Ensayos, que tiene como finalidad recolectar los datos necesarios para la Evaluación, se puede dar inicio a esta etapa *Evaluación Estructural Simplificada*.

El procedimiento de Evaluación está basado esencialmente en identificar tres aspectos fundamentales:

- La agresividad ambiental.
- Las características de los elementos estructurales.
- El nivel de daños actuales.

La información existente se recoge en dos índices, el Índice de Corrosión (IC) y el Índice Estructural (IE). El primero es un indicador de la sensibilidad del elemento estructural a la corrosión de las armaduras, mientras el segundo trata de representar los daños actuales de la estructura. Ambos factores son considerados para obtener el Índice de Daño Estructural (IDE), que proporciona un resumen del estado actual y futuro de la estructura.



Figura 4.1: Cálculo del Índice de Daño Estructural.



El Índice de Corrosión IC se calcula mediante:

- La graduación en cuatro niveles del registro de los Indicadores de Daño ID y su puntuación desde un valor mínimo (1) a un valor máximo (4).
- La graduación de la Agresividad Ambiental (AA) por medio de los ambientes de exposición clasificados en cualquiera de las normativas de diseño de estructuras.

Los cuales están especificados en el punto 4.2.1

El Índice Estructural es un Indicador semi-empírico que tiene en cuenta la sensibilidad del elemento a la corrosión de las armaduras y el efecto de la corrosión de las armaduras en la capacidad portante de éste; y se calcula mediante:

- Los detalles de armado del elemento.
- El grado de hiperestatismo de la estructura.
- El nivel de sollicitación del elemento con respecto a su capacidad portante.

Los cuales están especificados en el punto 4.2.2

La consideración conjunta del Índice de Corrosión IC y el Índice Estructural IE proporcionan la clasificación definitiva del elemento (o del conjunto de elementos) en cuatro niveles que van desde Situación Muy Severa a Situación Despreciable.

La Figura 4.2 muestra el Diagrama de Flujo del proceso completo de Evaluación estructural Simplificada.

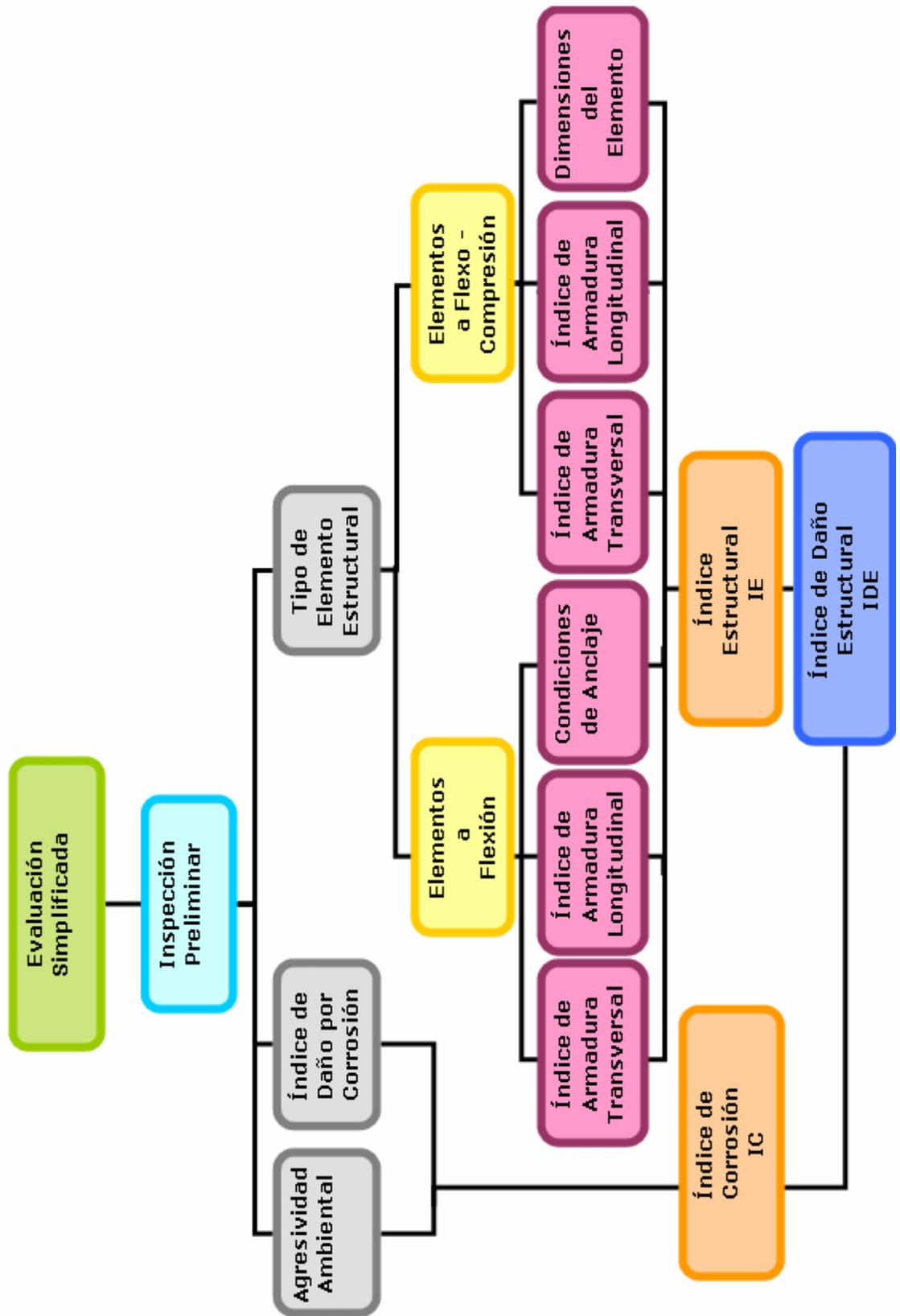


Figura 4.2: Diagrama de Flujo de Evaluación Simplificada.



4.2.1.1 Índice de Corrosión IC

El Índice de Corrosión IC informa sobre el daño actual debido a la corrosión y la velocidad del deterioro, y se obtiene a través de dos parámetros, Agresividad Ambiental e Índice de Daño por Corrosión.

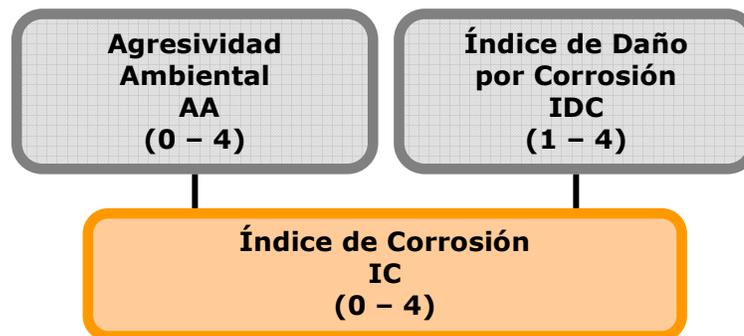


Figura 4.3: Cálculo del Índice de Corrosión. (Extracto Figura 4.2)

El cálculo de IC, se realiza de acuerdo a la Ecuación 4.1

$$IC = \frac{AA + IDC}{2} \quad (Ec. 4.1)$$

De acuerdo a la puntuación obtenida del IC, se puede establecer el Nivel de Corrosión del elemento (o lote), como se indica en la Tabla 4.1.

Valor del Índice de Corrosión	Nivel de Corrosión
0 - 1	Muy Baja
1 - 2	Baja
2 - 3	Media
3 - 4	Alta

Tabla 4.1: Valor Índice de corrosión.



La forma de obtener la puntuación de la Agresividad Ambiental e Índice de Daño por Corrosión se indica a continuación.

Agresividad Ambiental AA

Se clasificará la agresividad ambiental de acuerdo a las características de exposición de cada elemento (o lote), en función de lo visualizado en la inspección en terreno. En la Tabla 4.2 se presentan las clases de exposición.



Designación	Descripción del Ambiente	Ejemplos
1. Sin Riesgo de Corrosión		
X ₀	Hormigón en masa o armado: todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos.	Hormigón en interiores de edificio con niveles de humedad muy bajos.
2. Corrosión inducida por Carbomatación		
XC ₁	Seco o permanentemente húmedo.	Hormigón armado en el interior de edificios con humedad relativa baja. Hormigón permanentemente sumergido.
XC ₂	Húmedo, raramente seco.	Superficies de hormigón sometidas a contacto con el agua durante largos periodos. Cimentaciones.
XC ₃	Humedad moderada.	Hormigón armado en el interior de edificios con humedad relativa moderada. Hormigón en exterior protegido de la lluvia.
XC ₄	Ciclos húmedos y secos.	Superficies de hormigón en contacto con el agua, no incluidas en la clase XC ₂ .
3. Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino		
XD ₁	Moderadamente húmedo	Superficie de hormigón expuesta a los cloruros contenidos en el aire.
XD ₂	Húmedo, raramente seco	Hormigón expuesto a la acción de aguas industriales que contienen cloruros.
XD ₃	Ciclos húmedos y secos.	Partes expuestas a salpicaduras que contienen cloruros.
4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino		
XS ₁	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire, pero no en contacto con el agua de mar.	Estructuras cerca del mar o en la costa.
XS ₂	Permanentemente sumergidas.	Partes de estructuras marítimas.
XS ₃	Zonas expuestas a la acción de las mareas o salpicaduras.	Partes de estructuras marítimas.

Tabla 4.2: Clases de exposición.



El valor de la Agresividad Ambiental AA, se determinará adjudicando puntos de 0 a 4 a las clases de exposición (Tabla 4.2), como se muestra en la Tabla 4.3.

Clase de Exposición	Puntuación
X ₀	0
XC ₁	1
XC ₂	1
XC ₃	2
XC ₄	3
XD ₁	2
XD ₂	3
XD ₃	4
XS ₁	2
XS ₂	3
XS ₃	4

Tabla 4.3: Valor de la Agresividad Ambiental.

Índice de Daño por Corrosión IDC

Los valores de los IDC se establecen en la Tabla 4.4, de acuerdo a los indicadores que no sólo reflejan el estado actual de la estructura, sino la previsible evolución del deterioro.



Indicador	1	2	3	4
Profundidad de Carbonatación	$X_{CO_2} = 0$	$X_{CO_2} < r$	$X_{CO_2} = r$	$X_{CO_2} > r$
Profundidad de Cloruros	$X_{Cl^-} = 0$	$X_{Cl^-} < r$	$X_{Cl^-} = r$	$X_{Cl^-} > r$
Fisuración en el recubrimiento	Sin fisuras	Fisuras < 0.3 mm	Fisuras > 0.3 mm	Fisuración generalizada
Resistividad	$\rho > 1000 \Omega m$	$500 < \rho < 1000 \Omega m$	$100 < \rho < 500 \Omega m$	$\rho < 100 \Omega m$
Pérdida de Sección de Armadura	< 1 %	1 – 5 %	5 – 10 %	> 10 %
Intensidad de corrosión	$I_{corr} < 0.1 \mu A/cm^2$	$0.1 < I_{corr} < 0.5 \mu A/cm^2$	$0.5 < I_{corr} < 1 \mu A/cm^2$	$I_{corr} > 1 \mu A/cm^2$

Tabla 4.4: Indicadores para estimación de IDC.

El Índice de Daño por Corrosión (IDC), se calcula de la siguiente forma:

Los valores obtenidos, mediante mediciones y ensayos, de la profundidad de carbonatación, profundidad de cloruros, ancho de fisuras, resistividad, pérdida de sección de la armadura e intensidad de corrosión; se deberán comparar con los valores establecidos en la tabla 4.4 y asignar una puntuación de 1 a 4 a cada uno de los indicadores, para posteriormente realizar el promedio aritmético de ellos.

$$IDC = \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Puntuación del Indicador}_i}{6} \quad (Ec.4.2)$$

4.2.1.2 Índice Estructural IE

Las consecuencias de la corrosión de las armaduras en el hormigón son muy diferentes dependiendo de diversos factores: tipo de sección y esfuerzos de ésta, nivel de armado, tipo de armaduras, etc. Así, el IE intenta recoger todos estos factores para calificar la estructura. De un modo general se establece una calificación entre elementos sometidos a flexión y elementos sometidos a flexo-compresión.

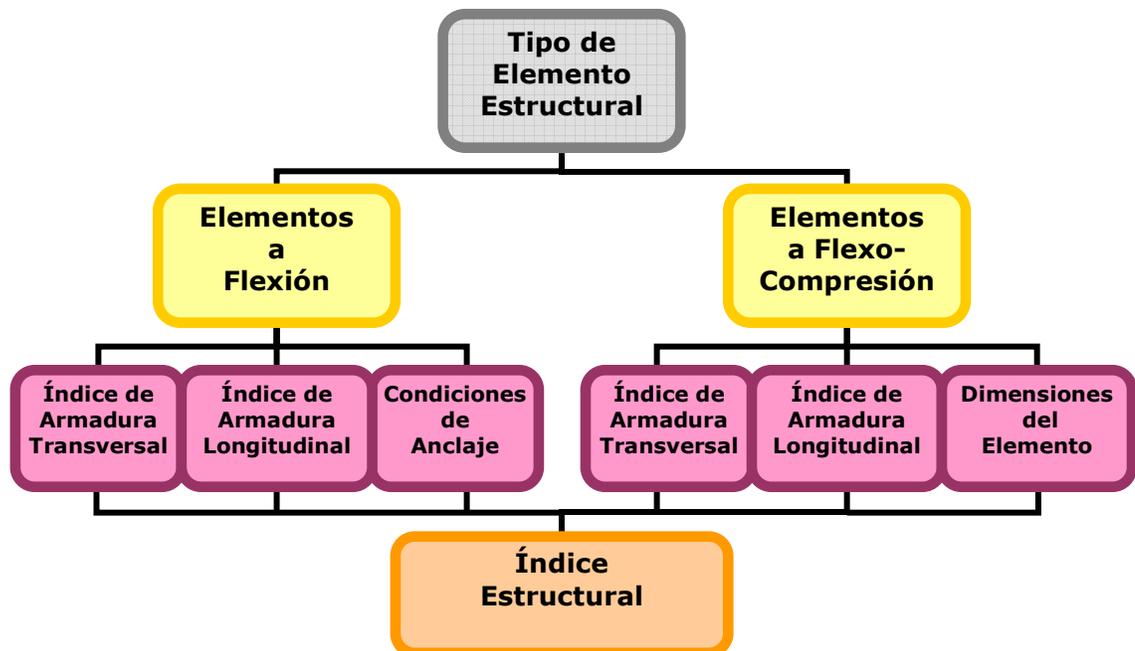


Figura 4.4: Índice Estructural, (Extracto Figura 4.2)

a) Elementos sometidos a Flexión

Para elementos sometidos a flexión se debe determinar el Índice de Armadura Transversal, Índice de Armadura Longitudinal y Condiciones de Anclaje.



Índice de Armadura Transversal

En éste índice se tiene en consideración los siguientes parámetros:

- Diámetro de la Armadura Transversal.
- Distancia entre estribos.

Estos parámetros son los datos de entrada para localizar en la Tabla 4.5, el Índice de Armado Transversal.

ϕ_t	Separación de los estribos			Sin estribos
	$S_t \leq 0.5d$	$S_t > 0.5d$ (4 ramas)	$S_t > 0.5d$	
> 8 mm	1	1	2	3
≤ 8 mm	2	2	3	

Tabla 4.5: Índice de Armadura Transversal.

Dónde,

- ϕ_t : Diámetro de la armadura transversal, en mm.
 d : Canto efectivo de la sección, en mm.
 S_t : Separación entre estribos, en mm.

Índice de Armadura Longitudinal

Es necesario conocer el diámetro de la armadura longitudinal, para seleccionar en que categoría están:

- Barras de gran diámetro: Formadas por barras de diámetro $\phi \geq 20$ mm.
- Barras de diámetro medio o pequeño: Formadas por barras de diámetro $\phi < 20$ mm.



Se consideran, además, dos subcategorías dentro de cada diámetro, dependiendo de la cuantía de armadura. Así, se establecen dos tipos de cuantía según la clasificación siguiente:

- Baja cuantía: $\rho_s < 1.0 \%$
- Alta cuantía: $\rho_s > 1.5 \%$

Para valores intermedios de ρ_s , el evaluador deberá decidir en qué tipo de clasificación situar el elemento.

Donde

ρ_s : Cuantía de acero.

$$\rho_s = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot 100\% \quad (Ec. 4.3)$$

A_s : Área de barras de acero de refuerzo, en cm^2 .

b : Ancho de la sección transversal de hormigón, en cm.

d : Canto útil de la sección de hormigón, en cm.

Condiciones de Anclaje

Deberá distinguirse si la armadura esta anclada en la sección de apoyo o el centro del vano, este dato se utilizará de manera opcional para obtener el índice estructural.

Índice Estructural

Éste índice se puede obtener mediante dos procedimientos. El primero de ellos utiliza los siguientes parámetros:



- Índice de Armadura Longitudinal.
 - o Diámetro de barras que componen la armadura longitudinal.
 - o Cuantía de armadura.
- Índice de Armadura Transversal.

Estos parámetros son los datos de entrada para localizar en la Tabla 4.6, el Índice Estructural.

Índice de Armadura Transversal	Armadura Longitudinal			
	$\phi \geq 20 \text{ mm}$		$\phi < 20 \text{ mm}$	
	Alta Cuantía	Baja Cuantía	Alta Cuantía	Baja Cuantía
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Tabla 4.6: Índice Estructural para elementos sometidos a flexión.

En el caso de que los datos requeridos en la Tabla 4.6 no estén disponibles, o su obtención resulte demasiado cara o engorrosa, la Tabla 4.7 muestra una opción simplificada de obtener el Índice Estructural, considerando las condiciones de anclaje, aunque el nivel de precisión obtenido es considerablemente menor.

Armado Transversal	Viga plana ($h < b$)		Vigas ($h > b$), Losas	
	Anclaje sección de Apoyo	Anclaje sección Centro de vano	Anclaje sección de Apoyo	Anclaje sección Centro de vano
Alta densidad	I	I	I	II
Baja densidad	II	III	III	IV
Sin estribos	III	IV	IV	IV

Tabla 4.7: Índice Estructural para elementos sometidos a flexión (Opción Simplificada)



b) Elementos sometidos a Flexo-Compresión

Para elementos sometidos a flexo-compresión el procedimiento es similar al realizado para elementos a flexión, así se debe determinar el Índice de Armadura Transversal, Índice de Armadura Longitudinal y Dimensiones del elemento.

Índice de Armadura Transversal

Este índice trata de representar el mayor o menor riesgo de pandeo de las armaduras del soporte. Se deben considerar los siguientes parámetros:

- Diámetro de la Armadura Transversal.
- Diámetro de la Armadura Longitudinal.
- Separación entre estribos.

Estos parámetros son los datos de entrada para localizar en la Tabla 4.8, el Índice de Armado Transversal.

ϕ_t	$\lambda \leq 10$	$\lambda > 10$
> 8 mm	1	2
≤ 8 mm	2	3

Tabla 4.8: Índice de Armado Transversal.

Dónde,

ϕ_t : Diámetro de la armadura transversal, en mm.

λ : Índice de pandeo, (Ec. 4.4)

$$\lambda = \frac{\text{Separación entre estribos } S_t \text{ (mm)}}{\text{Diámetro Armadura Longitudinal } \phi_l \text{ (mm)}} \quad (\text{Ec. 4.4})$$



Índice de armadura Longitudinal

Es necesario conocer el diámetro de la armadura longitudinal y el espaciamiento entre las barras dispuestas verticalmente.

Dimensiones del Elemento

Es necesario conocer las dimensiones de la sección transversal de cada elemento, además del espesor de recubrimiento, para así calcular el índice de estallido, necesario para obtener el Índice Estructural,

Índice Estructural

Este índice se puede obtener mediante dos procedimientos. El primero de ellos utiliza los siguientes parámetros:

- Índice de Armadura Longitudinal.
 - o Diámetro de barras que componen la armadura longitudinal.
 - o Espaciamiento de las barras verticales.
- Índice de Armadura Transversal.
- Índice de Estallido.

Estos parámetros son los datos de entrada para localizar en la Tabla 4.9, el Índice Estructural.

Índice de Armado Transversal	$\eta \geq 0.75$		$\eta < 0.75$	
	$S_l > 5\phi_l$	$S_l < 5\phi_l$	$S_l > 5\phi_l$	$S_l < 5\phi_l$
1	I	I	II	III
2	I	II	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Tabla 4.9: Índice Estructural para elementos sometidos a flexo-compresión.



Dónde,

S_1 : Espaciamiento entre barras principales dispuestas verticalmente, en mm.

ϕ_l : Diámetro de armadura longitudinal, en mm.

η : Índice de Estallido, (Ec, 4.5)

$$\eta = \frac{A'}{h \cdot b} \quad (Ec. 4.5)$$

h : Altura del elemento, sección transversal, en cm

b : Base del elemento, sección transversal, en cm

A' : Área de la sección transversal sin considerar el recubrimiento y el diámetro de los estribos, en cm^2

En el caso de que los datos requeridos en la Tabla 4.9 no estén disponibles, o su obtención resulte demasiado cara o engorrosa, la Tabla 4.10 muestra una opción simplificada de obtener el Índice Estructural, aunque el nivel de precisión obtenido es considerablemente menor.

Armadura Transversal	$a > 400 \text{ mm}$		$a \leq 400 \text{ mm}$	
	Alta separación de barras verticales	Barras verticales poco espaciadas	Alta separación de barras verticales	Barras verticales poco espaciadas
Estribos poco espaciados	I	II	III	IV
Estribos muy espaciados	II	III	IV	IV

Tabla 4.10: Índice Estructural para elementos sometidos a flexo-compresión (Opción Simplificada)

Dónde,

a : Dimensión mínima del elemento, en su sección transversal, en mm



4.2.1.3 Índice de Daño Estructural IDE

De acuerdo a la Figura 4.1, el Índice de Daño Estructural, se obtiene mediante:

- Índice de Corrosión IC (Punto 4.2.1.1)
Calificaciones de 0 – 4.
- Índice Estructural IE (Punto 4.2.1.2)
Calificaciones de I – IV.

Sin embargo, la importancia de la estructura se establece en función de las consecuencias de fallo de ésta. Las consecuencias de fallo pueden ser:

- **Leves:** Las consecuencias de fallo de la estructura no son serias o bien son lo suficientemente pequeñas.
- **Significativos:** En el caso de haber riesgos para la vida o importantes daños materiales.

De acuerdo, a lo anterior el Índice de Daño Estructural puede obtenerse localizando los parámetros en la Tabla 4.11.

IC	IE							
	I		II		III		IV	
	Consecuencias de fallo							
	Leves	Signif.	Leves	Signif.	Leves	Signif.	Leves	Signif.
0 – 1	D	D	D	D	D	M	M	M
1 – 2	M	M	M	M	M	S	M	S
2 – 3	M	S	M	S	S	MS	S	MS
3 – 4	S	MS	S	MS	S	MS	MS	MS

Tabla 4.11: Índice de Daño Estructural.



Dónde,

D : Daño Despreciable.

M : Daño Medio.

S : Daño Severo.

MS : Daño Muy Severo.

Urgencia de Intervención

Una vez obtenido el Índice de Daño Estructural IDE, es posible localizar en la Tabla 4.12 los intervalos de tiempo aconsejables para intervenir o reparar la estructura, o en otros casos y dependiendo del análisis proceder a la demolición.

IDE	Urgencia de Intervención (años)
D	> 10
M	5 – 10
S	2 – 5
MS	0 - 2

Tabla 4.12: Urgencia de Intervención de acuerdo al Índice de Daño Estructural.



4.2.2 Evaluación Estructural Detallada

La Evaluación Estructural Detallada considera un recálculo de la estructura, teniendo en cuenta las modificaciones de las propiedades mecánicas y de la geometría, tanto del acero como del hormigón. La Figura 4.5 muestra el procedimiento completo de esta Evaluación.

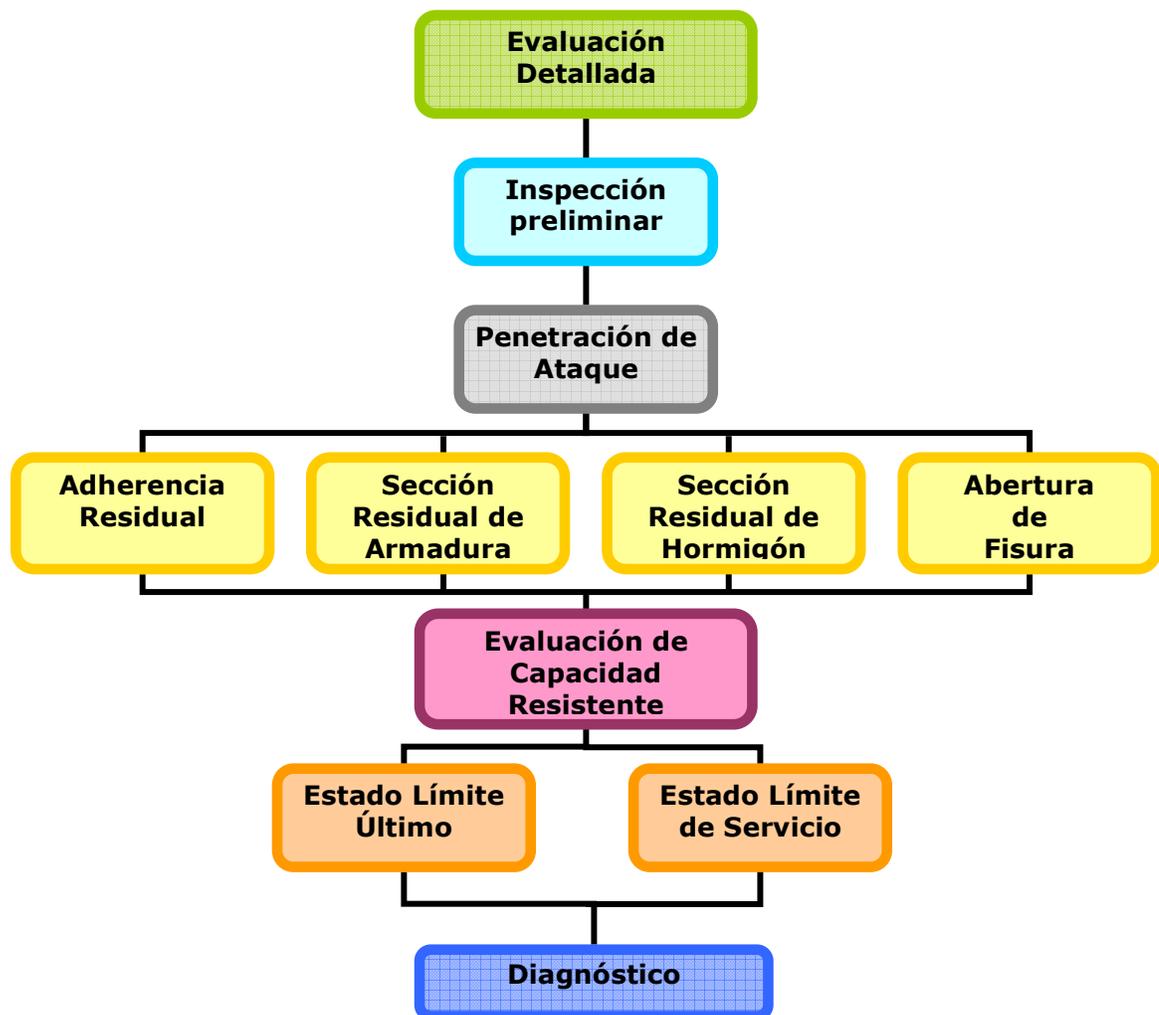


Figura 4.5: Diagrama de flujo de Evaluación Estructural Detallada.



4.2.2.1 Penetración de Ataque

Dependiendo de las características del agresivo, la corrosión de las armaduras y su influencia en la sección transversal es muy diferente. Mientras la carbonatación del hormigón provoca una penetración de ataque homogénea, el ataque por cloruros produce ataques localizados conocidos como picaduras que llevan a una reducción significativa de la sección transversal de la armadura.

El parámetro P_x se obtiene a partir de la intensidad de corrosión representativa y el tiempo.

$$P_x = 0.0116 \cdot I_{corr}^{rep} \cdot t_p \quad (mm) \quad (Ec. 4.6)$$

Donde,

t_p : Tiempo de propagación de la corrosión, en años.

I_{corr}^{rep} : Intensidad de corrosión representativa, en $\mu A/cm^2$.

- Cálculo de Intensidad de corrosión representativa I_{corr}^{rep}

La intensidad de corrosión representativa se obtiene de la siguiente forma:

Varias medidas

- Lo óptimo sería realizar por lo menos 4 mediciones durante un período de 12 meses teniendo en cuenta las estaciones anuales.
- La intensidad de corrosión al realizar varias medidas de la intensidad de corrosión, se realiza de acuerdo a la ecuación Ec. 4.7.



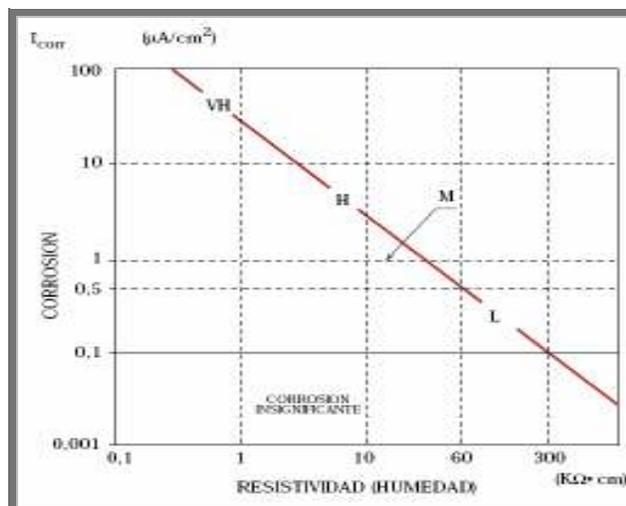
$$I_{corr}^{rep} = \sum_{i=1}^n \frac{I_{corri}}{n} \quad (Ec. 4.7)$$

Donde,

$I_{corr i}$: Intensidad de corrosión de la medición i , en $\mu A/cm^2$.

Mediciones aisladas

- Después de efectuar la medida de intensidad de corrosión, se debe extraer un testigo, el cuál será introducido en una cámara acondicionada al 85% de humedad relativa (para simular un hormigón protegido de la lluvia) o se satura completamente de agua bajo vacío (para simular un hormigón expuesto a la lluvia). Cuando el peso varía menos del 0.1% se mide en el testigo la resistividad mínima.
- Situar los valores de intensidad de corrosión y resistividad, medidos en terreno, en el gráfico mostrado en la Figura 4.6. Trazar una recta paralela a la teórica y ubicar los valores de resistividad mínima (en la recta trazada), para encontrar el valor de intensidad de corrosión máxima.



VH: Corrosión muy alta H: Corrosión alta M: Corrosión moderada L: Corrosión baja

Figura 4.6: Relación teórica entre Intensidad de corrosión y Resistividad.



- Por último, calcular la intensidad de corrosión representativa de acuerdo a la ecuación Ec. 4.8.

$$I_{corr}^{rep} = \frac{I_{corr} + I_{corr}^{max}}{2} \quad (Ec. 4.8)$$

Donde,

I_{corr} : Intensidad de corrosión, en $\mu A/cm^2$.

I_{corr}^{max} : Intensidad de corrosión máxima, en $\mu A/cm^2$.

- Cálculo de Tiempo de Propagación t_p

El tiempo de propagación de la corrosión, consiste en el tiempo desde el despasivado del acero hasta que se desarrolla en la estructura un cierto nivel inaceptable de deterioro.

$$t_p = t_x - p_i \quad (Ec. 4.9)$$

Donde,

t_x : Edad de la estructura, en años. Consiste en el tiempo transcurrido desde la ejecución de la estructura.

p_i : Período de iniciación, en años. Consiste en el tiempo transcurrido desde la ejecución de la estructura hasta que el frente del factor de deterioro alcance la armadura y despasive el acero.

El período de iniciación se calcula de la siguiente forma:

$$p_i = \frac{t_x}{Cr^2} \quad (Ec. 4.10)$$

Donde,

Cr : Carbonatación relativa



La Carbonatación relativa, indica cuanto falta o en cuanto ha sido superado el espesor de recubrimiento por el frente carbonatado, y se calcula según la ecuación Ec. 4.11.

$$Cr = \frac{X_{co2}}{r} \quad (Ec. 4.11)$$

Donde,

X_{co2} : Espesor frente carbonatado, en mm

r : Espesor recubrimiento de armadura, en mm

4.2.2.2 Adherencia Residual

La formulación desarrollada para determinar la influencia de la penetración de ataque en la pérdida de adherencia son las siguientes:

- Para barras corrugadas:

$$\text{Si } \rho_t > 0.25 \quad f_b = 4.75 - 4.64 \cdot P_x \quad (Ec. 4.12)$$

$$\text{Si } \rho_t < 0.25 \quad f_b = 10.04 + \left(-6.62 + 1.98 \cdot \frac{\rho_t}{0.25} \right) \cdot (1.14 + P_x) \quad (Ec. 4.13)$$

Si en el elemento no existen estribos, la adherencia residual puede estimarse de la siguiente forma:

$$f_b = 2.50 - 6.62 \cdot P_x \quad (Ec. 4.14)$$

- Para barras lisas:

$$\text{Si } \rho_t > 0.25 \quad f_b = \left(\frac{4.75 - 4.64 \cdot P_x}{2.25} \right) \quad (Ec. 4.15)$$



$$\text{Si } \rho_t < 0.25 \quad f_b = \frac{10.04 + \left(-6.62 + 1.98 \cdot \frac{\rho_t}{0.25}\right) \cdot (1.14 + P_x)}{2.25} \quad (\text{Ec. 4.16})$$

Si en el elemento no existen estribos, la adherencia residual puede estimarse de la siguiente forma:

$$f_b = \frac{2.50 - 6.62 \cdot P_x}{2.25} \quad (\text{Ec. 4.17})$$

Donde,

f_b : Adherencia Residual, en MPa

ρ_t : Cuantía, (Ec. 4.18)

$$\rho_t = n \cdot \left(\frac{\phi_t - \alpha \cdot P_{xt}}{\phi_l} \right)^2 \quad (\text{Ec. 4.18})$$

n : Número de estribos en la longitud de anclaje

ϕ_t : Diámetro de los estribos, en mm.

ϕ_l : Diámetro de las barras principales, mm.

α : Coeficiente dependiente del tipo de ataque.

$\alpha = 2$, si la corrosión es homogénea.

$\alpha = 10$, si la corrosión es localizada.

P_{xt} : Penetración de ataque medio en estribos, en mm. (Ec. 4.6, pero considerando la armadura de estribo)

P_x : Penetración de ataque medio en las barras principales, en mm. (Ec. 4.6)

La adherencia residual calculada en las ecuaciones 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 ó 4.17 según sea el caso, debe ser menor a la tensión de adherencia calculada mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{V}{0.9 \cdot d \cdot \pi \cdot \phi_r \cdot n'} \quad (\text{Ec. 4.19})$$



Donde,

- f : Tensión de Adherencia, en MPa.
V : Fuerza de Corte, en N. (De acuerdo a lo establecido en el punto 4.2.2.6)
d : Canto útil o Canto útil reducido, en mm.
 ϕ_{tr} : Diámetro de las barras traccionadas, en mm.
n' : Número de barras traccionadas

Si la tensión de adherencia es mayor que la adherencia residual, el efecto compuesto (acero-hormigón) se ha perdido, generando el deslizamiento de las barras longitudinalmente con respecto al hormigón adyacente, y en consecuencia, provocando un aumento de deformaciones (efecto arco).

4.2.2.3 Sección Residual de Armadura

Una vez obtenida la penetración de ataque Px y la sección transversal de armadura, es posible obtener el diámetro residual de la barra afectada, a partir de la siguiente expresión:

$$\phi_c = \phi_o - \alpha \cdot Px \quad (Ec. 4.20)$$

Donde,

- Px : Penetración de ataque de corrosión, en mm, (Ec. 4.6)
 ϕ_c : Diámetro de la armadura corroída, en mm
 ϕ_o : Diámetro de la armadura inicial, en mm
 α : Coeficiente dependiente del tipo de ataque.

$\alpha = 2$, si la corrosión es homogénea.

$\alpha = 10$, si la corrosión es localizada.

La Figura 4.7 muestra la reducción de la sección de armadura mediante corrosión generalizada y localizada, de acuerdo a la penetración de ataque.

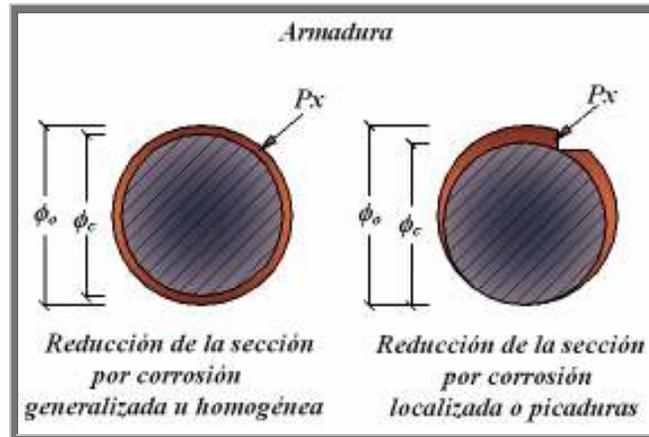


Figura 4.7: Pérdida de sección de la armadura.

4.2.2.4 Sección Residual de Hormigón

La sección de hormigón puede sufrir reducciones de canto útil o ancho, las cuales son constatadas en terreno mediante la inspección y realización de mediciones.

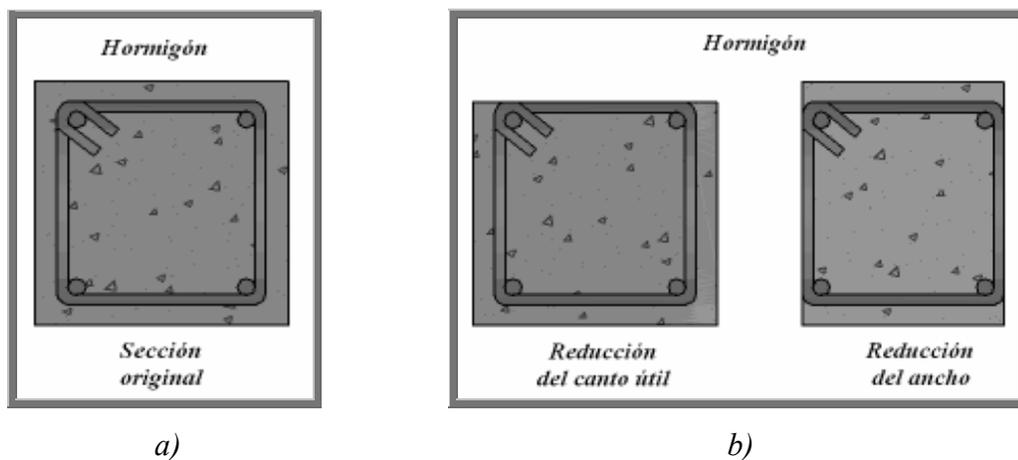


Figura 4.8: a) Sección Inicial de Hormigón.

b) Sección Residual de Hormigón.



4.2.2.5 Abertura de Fisura

La expresión desarrollada a partir de resultados experimentales para evaluar las condiciones de fisuración en estructuras corroídas y que proporciona el valor característico del ancho de fisura es la siguiente:

$$w = 0.05 + \beta \cdot (P_x - P_{x_0}) \quad (\text{Ec. 4.21})$$

Donde,

w : Ancho de fisura estimado, en mm.

P_x : Penetración de ataque, en mm

P_{x_0} : Penetración de ataque correspondiente al inicio de la corrosión, en mm.

β : Coeficiente que depende de la posición de la barra

$\beta = 0.01$ para armadura superior

$\beta = 0.0125$ para armadura inferior

La penetración de ataque correspondiente al inicio de la corrosión puede estimarse según la ecuación Ec. 4.22.

$$P_{x_0} = \left(83.8 + 7.4 \cdot \frac{r}{\phi} - 22.6 \cdot f_{ci} \right) \cdot 10^{-3} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Ec. 4.22})$$

Donde,

r : Espesor de recubrimiento de la armadura, en mm.

ϕ : Diámetro de la armadura, en mm.

f_{ci} : Resistencia a tracción del hormigón, en MPa.

$$f_{ci} = 0.333 \cdot f_c'^{2/3} \quad (\text{Ec. 4.23})$$

f_c' : Resistencia característica a compresión del hormigón, en MPa.



El Código ACI 224 presenta una expresión para estimar el máximo ancho de fisura, la cual puede ser utilizada en forma alternativa a la ecuación Ec. 4.21.

- Ancho de fisura superficial, en flexión (Gergely y Lutz, 1968)

$$w_m = 0.011 \cdot f_s (d_c \cdot A_c)^{0.33} \cdot 10^{-3} \quad (\text{Ec. 4.24})$$

$$A_c = 2 \cdot d_c \cdot s_l \quad (\text{Ec. 4.25})$$

Donde,

w_m : Ancho máximo de fisura probable, en mm.

f_s : Tensión en el acero de la armadura, en MPa.

d_c : Distancia entre el centro de una barra hasta la fibra extrema traccionada, en mm.

s_l : Separación de las barras, en mm.

A_c : Sección de hormigón simétrico con las armaduras dividido por el número de barras, en mm^2 .

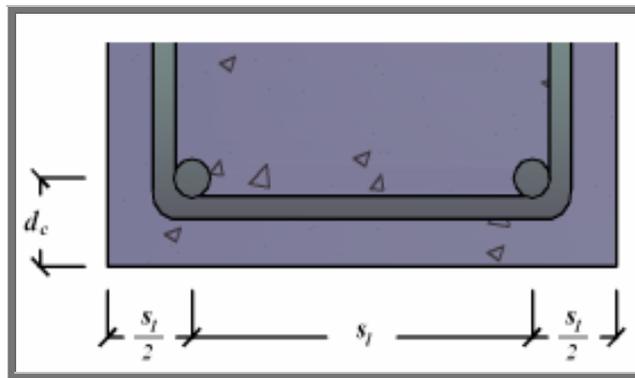


Figura 4.9: Obtención de parámetros d_c y s_l .



4.2.2.6 Evaluación de Capacidad Resistente

El principal objetivo de la evaluación estructural es asegurar un determinado nivel de seguridad en una estructura existente.

El procedimiento de diseño de estructuras es el de los estados límites. El estado límite separa un estado favorable para la estructura de uno que es desfavorable o indeseable. La Tabla 4.13, muestra los estados a comprobar en una estructura.

Tipo de Estado Último	Descripción
Resistencia	Fallo de una parte o toda la estructura
Servicio	Interrupción del uso normal de la estructura

Tabla 4.13: Descripción de tipos de estado último.

Estado último de Resistencia

Para estudiar si una estructura ha sobrepasado el estado límite de resistencia, la Ecuación Ec. 4.26 debe ser verificada.

$$\phi_n R_n \geq U \quad (\text{Ec. 4.26})$$

Donde,

ϕ_n : Factor de minoración.

R_n : Resistencia nominal de la estructura.

U : Carga última de diseño.



Las cargas de diseño deben ser mayoradas mediante las siguientes ecuaciones, especificadas en el Código ACI 2005.

$$U = 1.4 \cdot (P + F) \quad (\text{Ec. 4.27})$$

$$U = 1.2 \cdot (P + F + T) + 1.6 \cdot (L + H) + 0.5 \cdot (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (\text{Ec. 4.28})$$

$$U = 1.2 \cdot P + 1.6 \cdot (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0 \cdot L \text{ ó } 0.87 \cdot W) \quad (\text{Ec. 4.29})$$

$$U = 1.2 \cdot P + 1.6 \cdot W + 1.0 \cdot L + 0.5 \cdot (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (\text{Ec. 4.30})$$

$$U = 1.2 \cdot P + 1.0 \cdot E + 1.0 \cdot L + 0.2 \cdot S \quad (\text{Ec. 4.31})$$

$$U = 0.9 \cdot P + 1.6 \cdot W + 1.6 \cdot H \quad (\text{Ec. 4.32})$$

$$U = 0.9 \cdot P + 1.6 \cdot E + 1.6 \cdot H \quad (\text{Ec. 4.33})$$

Donde,

P : Carga Permanente.

F : Carga debida al Peso y Presión del Fluido.

T : Efectos acumulados de Variación de Temperatura, Flujo Plástico, Retracción, Asentamiento Diferencial, y Retracción del hormigón de retracción compensada.

L : Sobrecarga.

H : Carga debida al Peso y Presión del Suelo.

L_r : Sobrecarga de Cubierta.

W : Carga por Viento.

E : Carga por Sismo.

R : Carga por Lluvia.



Además, el Código ACI 2005, en el capítulo 20, hace mención de la evaluación de la resistencia a estructuras existentes. Algunas recomendaciones se mencionan a continuación:

- Deben establecerse las dimensiones de los elementos en las secciones críticas.
- La ubicación y tamaño de las barras de refuerzo, deben determinarse a través de mediciones.
- Si se requiere, la resistencia del hormigón debe basarse en resultados de ensayos de probetas.
- Si se requiere, la resistencia del refuerzo debe basarse en ensayos de tracción de muestras representativas.
- Si las dimensiones y propiedades del material requeridas se determinan a través de mediciones o ensayos, se puede incrementar el valor de ϕ_n con respecto a los valores dados para diseño de estructuras inexistentes, pero no puede ser mayor a:

Secciones controladas por tracción	1.00
Secciones controladas por compresión	
Elementos con refuerzo en espiral	0.85
Otros elementos reforzados	0.80
Cortante y/o torsión	0.80
Aplastamiento del concreto	0.80

Estos factores de reducción de resistencia incrementados se justifican por el uso de propiedades más exactas para los materiales obtenidas en terreno, de las dimensiones reales y métodos de análisis bien entendidos.



Sin embargo, el uso de ϕ_n incrementado dependerá exclusivamente del evaluador, de acuerdo a la exactitud obtenida en ensayos y mediciones, y de la experiencia adquirida, de lo contrario podrán ser utilizados los valores de ϕ_n especificados en el Capítulo 9, del Código ACI 2005, y que a continuación se muestran:

Secciones controladas por tracción	0.90
Secciones controladas por compresión	
Elementos con refuerzo en espiral	0.70
Otros elementos reforzados	0.65
Cortante y/o torsión	0.75
Aplastamiento del concreto	0.65

- Recálculo de la estructura

Para la evaluación o recálculo de la estructura es necesario establecer las nuevas propiedades y secciones de los materiales, para realizar una estimación certera del deterioro y pérdidas de resistencias de los elementos.

La evaluación a flexión, compresión, o corte puede realizarse para cualquier elemento estructural, si existiesen dudas de su capacidad resistente; utilizando aquellas fórmulas establecidas para el diseño de estructuras de hormigón armado, dispuestas en el Código ACI 318-2005, pero considerando algunas modificaciones, como por ejemplo,

- Reducción del ancho de sección transversal de hormigón.
- Reducción del alto de sección transversal de hormigón.
- Reducción del área de sección transversal de hormigón.
- Reducción del diámetro de armadura de refuerzo.
- Reducción del diámetro de armadura de estribos.



- Disminución del canto útil de la sección transversal de hormigón.
- Utilización de la resistencia característica del hormigón obtenida mediante ensayo.
- Variación de las cuantías máximas y mínimas.
- Variación de las cargas soportadas por la estructura, debida a cambios de uso u otro.
- Otros.

Estado Último de Servicio

Para evaluar la serviciabilidad de la estructura es necesario verificar deformaciones excesivas, anchos de fisura, desprendimientos de hormigón, entre otros.

La deflexión instantánea en una sección no fisurada se calcula por medio de las típicas fórmulas tabuladas en diversos textos. Sin embargo, si la sección presenta fisuras, es necesario calcular el momento de inercia efectivo, el cual se calcula de acuerdo a la ecuación (Ec.4.34).

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \quad (Ec. 4.34)$$

Donde,

I_g : Momento de inercia de la sección bruta del elemento, sin tener en cuenta el refuerzo, en mm^4 .

I_{cr} : Momento de Inercia de la sección fisurada, en mm^4 .

M_a : Momento máximo no mayorado presente en elemento, en Nmm.

M_{cr} : Momento de fisuración, en Nmm.

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \quad (Ec. 4.35)$$



y_t : Distancia desde el eje centroidal de la sección total a la fibra extrema en tracción, sin considerar el refuerzo, en mm.

f_r : Módulo de ruptura del hormigón, en MPa.

$$f_r = 0.7 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{Ec. 4.36})$$

f'_c : Resistencia característica a compresión del hormigón, en MPa.

La deflexión adicional a largo plazo, resultante del flujo plástico y la retracción de elementos en flexión, debe determinarse multiplicando la deflexión inmediata causada por la carga permanente por el factor λ_Δ

$$\lambda_\Delta = \frac{\xi}{1 + 50 \cdot \rho'} \quad (\text{Ec. 4.37})$$

Donde,

ρ' : Cuantía del refuerzo a compresión evaluada sobre el área transversal, medida en la mitad de la luz para tramos simples y continuos y en el punto de apoyo para voladizos

ξ : Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas, Tabla 4.14

Tiempo	ξ
5 años o más	2.0
12 meses	1.4
6 meses	1.2
3 meses	1.0

Tabla 4.14: Factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas, ξ .



La sumatoria de la deflexión instantánea y la deflexión a largo plazo no debe superar los valores propuestos en la tabla 4.15.

Tipo de Elemento	Límite de deflexión
Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales, susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	$\frac{l}{180}$
Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales, susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	$\frac{l}{360}$
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales, susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	$\frac{l}{480}$
Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales, no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	$\frac{l}{240}$

Tabla 4.15: Deflexión máxima admisible.

Donde,

l : Luz de la viga o losa en una dirección; proyección libre del voladizo, en mm.



4.2.2.7 Diagnóstico

El objetivo de la fase de diagnóstico es determinar el comportamiento actual de la estructura, de manera de constatar una posible falla por resistencia o serviciabilidad de la estructura.

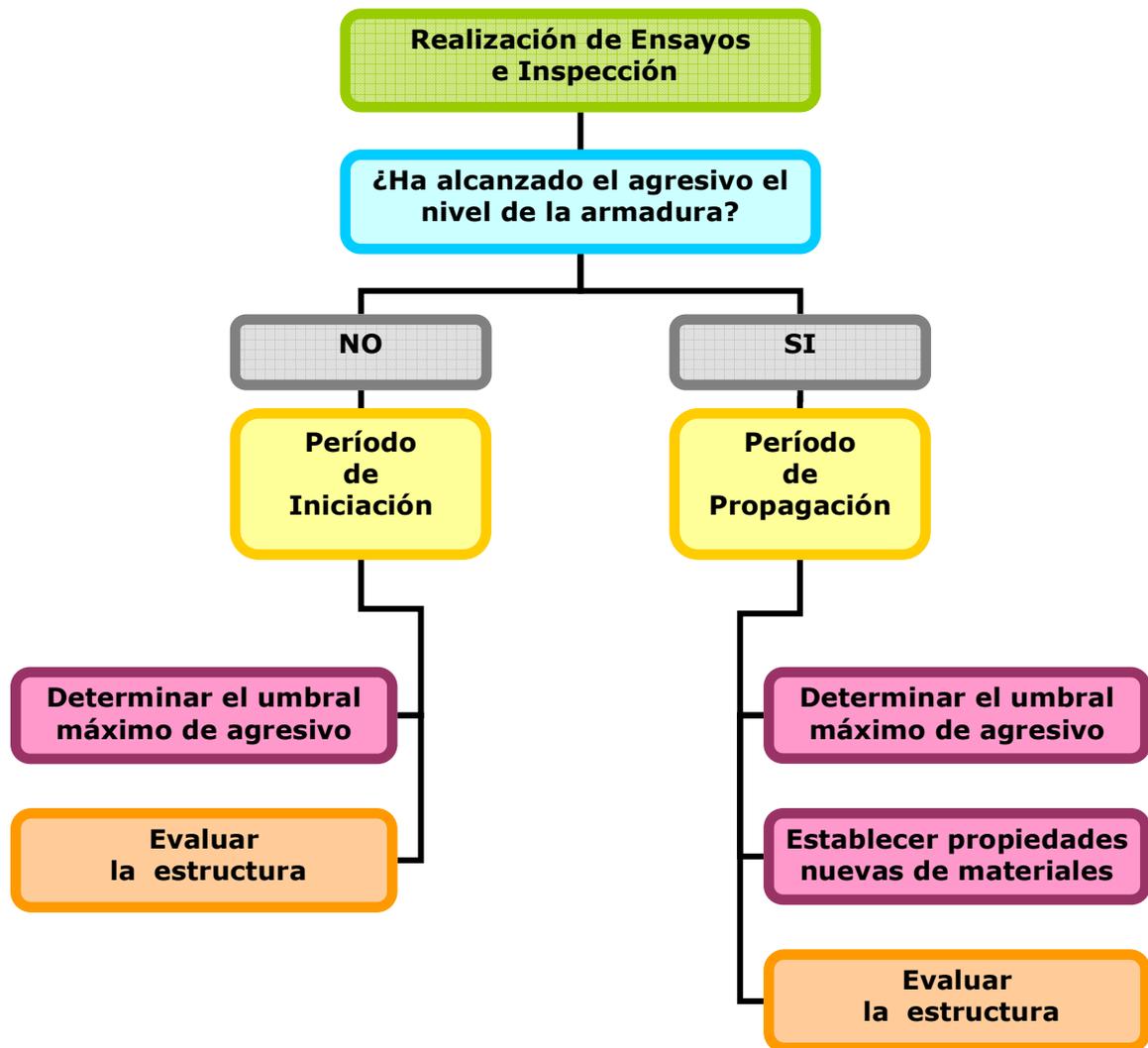


Figura 4.10: Diagrama de Flujo para el diagnóstico de una estructura.



- Período de Iniciación (p_i)

El periodo de iniciación, consiste en el tiempo transcurrido desde la ejecución de la estructura hasta que el frente del factor de deterioro alcance la armadura y despase el acero. De acuerdo con el tiempo transcurrido desde la finalización de obra y con la carbonatación relativa, pueden obtenerse con suficiente precisión el orden de valor del periodo de iniciación, con lo cual puede obtenerse la calificación del riesgo en el siguiente gráfico.

El período de iniciación se calcula mediante la ecuación (Ec. 4.10) y la Carbonatación relativa utilizando la ecuación (Ec. 4.11)

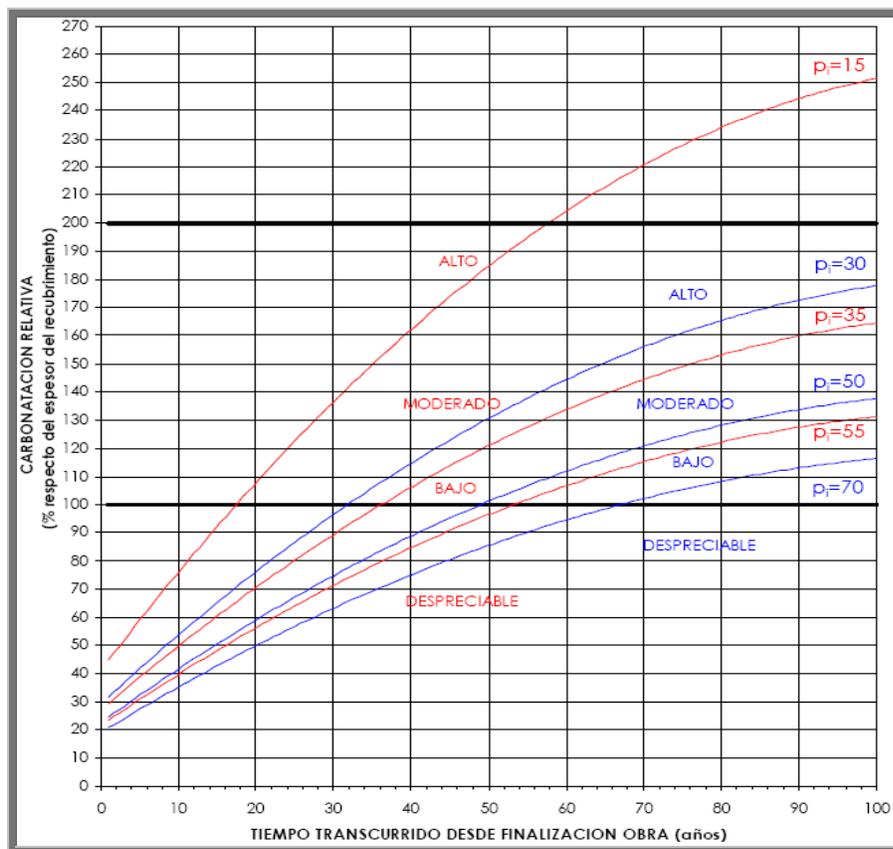


Figura 4.11: Calificación del Riesgo de Corrosión.



- Período de Propagación

El periodo de propagación, consiste en el tiempo desde el despasivado del acero hasta que se desarrolla en la estructura un cierto nivel inaceptable de deterioro. Este período se puede determinar mediante la ecuación (Ec. 4.9).

- Evaluación de la estructura

Para la evaluación, se considerarán todos los ítems especificados anteriormente, penetración de ataque, abertura de fisura, recálculo estructural, adherencia y deformaciones; para que considerándolos de manera conjunta, se pueda establecer un diagnóstico que especifique aquellas lesiones o fallas detectadas y el nivel de daño que presentan, con el fin de generar una propuesta de actuación acorde con los intereses del propietario.



4.3 Evaluación Post Sísmica

4.3.1 Procedimiento de Evaluación

El procedimiento de inspección se aplica por medio de dos niveles de evaluación:

Evaluación Post Sísmica Rápida

Es el procedimiento más simple y el primer nivel de evaluación, a través del cual se distingue rápidamente si la edificación tiene una seguridad aceptable, insegura o existen dudas respecto a su seguridad.

Evaluación Post Sísmica Detallada

En esta evaluación se realiza una inspección visual mas detallada, se lleva a cabo en las estructuras que se consideran como inseguras o con dudas respecto a su seguridad en la *Evaluación Rápida*.

Una vez realizada la inspección, tanto rápida como detallada, se procede a realizar la clasificación de uso o nivel de seguridad asociado a la edificación, los resultados de ésta se asocian a tres niveles de seguridad HABITABLE, CUIDADO e INSEGURA.



El procedimiento de evaluación de seguridad se describe esquemáticamente en el diagrama de la Figura 4.12, donde se indica la secuencia de revisión y clasificación de seguridad.

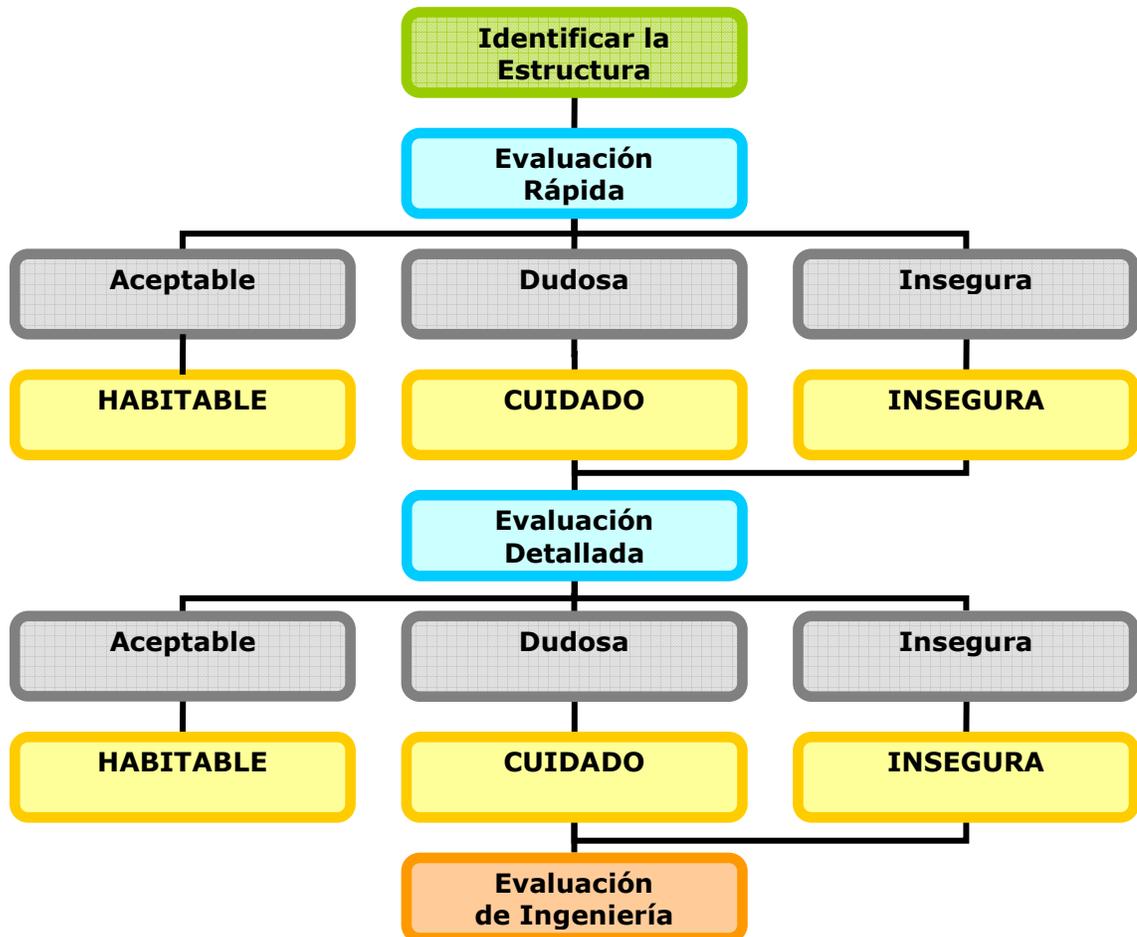


Figura 4.12: Procedimiento de evaluación de la seguridad de la estructura.



4.3.1.1 Evaluación Post Sísmica Rápida

El procedimiento de esta evaluación se basa en observar las condiciones de daño que individual o colectivamente sean suficientes para que la edificación se clasifique como Cuidado o Insegura, revisando las evidencias de fallas en la estructura, como derrumbe parcial, inclinación, daño severo en columnas, vigas u otro, así como las condiciones del suelo alrededor de la edificación que podrían llevar a clasificarla como insegura.

Los criterios básicos para esta evaluación se detallan en la Tabla 4.16

Condición	Clasificación
1.- Derrumbe Total o Parcial, edificación separada de su cimentación o falla de ésta.	<i>INSEGURA</i>
2.- La edificación, o cualquiera de sus pisos, se encuentra apreciablemente inclinada.	<i>INSEGURA</i>
3.- Daños importantes en elementos estructurales (columnas, vigas, muros, losas, etc.).	<i>INSEGURA</i>
4.- Daños importantes en elementos no estructurales, como escaleras.	<i>INSEGURA</i>
5.- Asentamientos o grietas en el terreno.	<i>INSEGURA</i>
6.- Elementos de fachada u otros elementos en peligro de caer.	<i>ÁREA INSEGURA</i>
7.- Presencia de otro tipo de riesgo (Ej.: derrames tóxicos, peligro de contaminación, etc.)	<i>ÁREA INSEGURA</i>

Tabla 4.16: Criterios básicos para la evaluación rápida.



Los resultados de la evaluación rápida a partir de los criterios antes mencionados permiten clasificar la estructura como:

INSEGURA : Si la estructura presenta cualquiera de los cinco primeros criterios antes mencionados.

CUIDADO : Si existen dudas respecto a esta evaluación.

HABITABLE : Si la estructura no presenta cualquiera de los cinco primeros criterios antes mencionados.

4.3.1.2 Evaluación Detallada

Esta evaluación consiste en un examen detallado de la edificación, en el interior y exterior, en particular en su sistema estructural, pretendiendo evaluar si existe la posibilidad de derrumbe estructural o peligro de caída de elementos estructurales y no estructurales.

Inspección de la Edificación desde el exterior:

Se debe examinar el exterior de la edificación, completando el “Formulario para inspeccionar-Evaluación detallada”, (ver Anexo D), con las descripciones de la edificación y de la estructura, mencionando la zonificación sísmica en donde se encuentra emplazada, la posición del edificio, la época de construcción, ya que este aspecto se asocia usualmente al tipo de estructura, su ductilidad y la calidad de la construcción, el tipo de terreno, además del uso con el fin de identificar si se han modificado las cargas originales de diseño por cambio de uso en la edificación.

Posteriormente, se debe analizar la existencia de discontinuidades verticales, irregularidades en planta y posible inclinación de la edificación



Evaluación de discontinuidades verticales

Las discontinuidades verticales se evalúan a través de los criterios expuestos en la Tabla 4.17

Clasificación	Descripción
Buena	Si $\frac{H_1}{B_1} < 2.5$, Y no tiene alguna condición correspondiente a la clasificación de mala.
Intermedia	Si $2.5 \leq \frac{H_1}{B_1} \leq 4$, Y no tiene alguna condición correspondiente a la clasificación de mala.
Mala	Si $\frac{H_1}{B_1} > 4$, Existencia de marcos y muros de rigidez que no son continuos hasta la cimentación, presencia de columnas cortas, presencia de piso débil.

Tabla 4.17: Criterios para evaluar la regularidad vertical.

Donde,

H_1 : Altura del elemento o edificio, en m.

B_1 : Base del elemento o edificio, en m.

Evaluación de Irregularidad en planta

Las discontinuidades en planta se evalúan a través de los siguientes criterios expuestos

Buena : La distribución de masa con respecto a dos ejes ortogonales es



aproximadamente simétrica en planta, y también lo son los muros y otros elementos resistentes. No tiene alguna condición correspondiente a la clasificación de mala.

Intermedia : Cae entre la clasificación buena y mala.

Mala : Tiene entrantes y salientes cuya dimensión excede del 30% de la dimensión de la planta, medida paralelamente a la dirección que se considera de la entrante o saliente, aberturas en el diafragma mayores del 30% del área del piso, la relación largo-ancho de la base excede de 3, vigas importantes que no lleguen a columnas.

Evaluación de la Inclinación de la Edificación

Para evaluar la Inclinación de la Edificación, el daño se describe por medio de tres categorías básicas de riesgo, evaluadas en base al porcentaje de inclinación

Inclinación (%)	Clasificación
< i	<i>A</i>
$i - 1.5 i$	<i>B</i>
> $1.5 i$	<i>C</i>

Tabla 4.18: Evaluación del porcentaje de inclinación.

Donde, i representa la inclinación en porcentaje dada por la siguiente expresión:

$$i = \frac{100}{100 + 3 \cdot H_1} \quad (\text{Ec. 4.38})$$

H_1 : Altura del elemento o edificio, en m.



Inspección del sitio por peligros geotécnicos

Se debe realizar una inspección del terreno y la cimentación para evaluar la posible existencia de grietas, expansión o movimientos verticales de asentamiento o emersión.

Para construcciones aisladas, según Rodríguez y Castrillón (1992), los valores límites de asentamiento evaluados de acuerdo con el valor medio del asentamiento en la construcción son los siguientes:

Asentamiento (S_n) (cm)	Clasificación
$S_n \leq 20$	<i>A</i>
$20 < S_n \leq 30$	<i>B</i>
$S_n > 30$	<i>C</i>

Tabla 4.19: Evaluación del asentamiento.

Donde

S_n : Asentamiento, en cm. El cual debe ser medido en terreno.

Inspección del sistema estructural

Se debe examinar el sistema estructural resistente, tratando de detectar evidencias de daños en columnas y vigas.

El grado de daño estructural de la edificación, se evalúa seleccionando la dirección principal mas dañada, inspeccionando por separado columnas y vigas y calculando el porcentaje de elementos con grados de daño IV y V.



Los criterios para definir grados de daño I a V para elementos de concreto reforzado son:

Grado de daño	Criterio
<i>I</i>	Grietas pequeñas, pero visibles sobre la superficie de concreto. (Grietas con ancho menor a 0.2 mm)
<i>II</i>	Grietas claramente visibles sobre la superficie de concreto. (Grietas con ancho entre 0.2 y 1.0 mm)
<i>III</i>	Agrietamiento local del recubrimiento de concreto. Grietas grandes. (Grietas con ancho entre 1.0 y 2.0 mm)
<i>IV</i>	Agrietamiento apreciable del concreto: Pérdida del recubrimiento y Presencia de barras expuestas.
<i>V</i>	Barras de refuerzo pandeadas, núcleo del concreto agrietado, aplastamiento de la columna o muro, asentamiento o inclinación en el sistema de piso.

Tabla 4.20: Criterios para la evaluación del grado de daño estructural.

Una vez asignados los porcentajes de daños IV y V, se procede a clasificar la estructura:

Grado	Elementos dañados (%)	Clasificación
IV	< 10%	<i>A</i>
IV	10% - 30%	<i>B</i>
IV	> 30%	<i>C</i>
V	< 5%	<i>A</i>
V	5% - 15%	<i>B</i>
V	> 15%	<i>C</i>

Tabla 4.21: Clasificación de la edificación de acuerdo al daño estructural.



Clasificación de la Edificación de acuerdo al resultado de la evaluación

Como paso final de la evaluación se debe determinar si la edificación posee clasificación INSEGURA, HABITABLE o CUIDADO, de acuerdo a los siguientes criterios:

Insegura : Corresponde a una edificación a la que, después de evaluar en terreno, la cimentación, asentamiento, inclinación y daños de elementos estructurales, se le asignaron dos o más clasificaciones de daño C, o cuatro o más clasificaciones de daño B. También clasifica como insegura, aquella estructura que sea a base de marcos que clasifique como cuidado y todas sus columnas posean rango de daño V.

Cuidado : Corresponde a una edificación a la que se le asignó una clasificación de daño C o tres clasificaciones de daño B. También clasifica como cuidado, aquella estructura que sea a base de marcos que clasifique como habitable y al menos una de sus columnas posea rango de daño V.

Habitable : Corresponde a una edificación que no clasifique como insegura o cuidado.



CAPÍTULO 5

ORIENTACIÓN PARA UNA CORRECTA REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

5.1 Introducción

Existe un indiscutible crecimiento de la necesidad de intervención de estructuras de hormigón armado con el fin de preservar su vida útil, sin embargo los materiales o procedimientos adoptados para reparación pueden no ser los más acertados.

Es factible que los materiales y procedimientos no confieran a la estructura durabilidad, estética o mejoramiento estructural adecuado, además de generar elevados costos; todo ello debido a una decisión errada o poco analizada.

Este capítulo presenta una metodología general de manera de considerar todos aquellos aspectos fundamentales a la hora de realizar una toma de decisión para reparar o rehabilitar una estructura de hormigón armado.



5.2 Metodología General

Una metodología general para una solución duradera de los problemas patológicos en las estructuras de hormigón armado dañadas se presenta en la Figura 5.1.

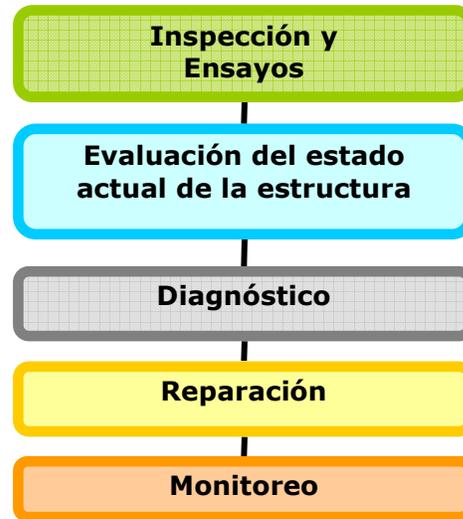


Figura 5.1: Metodología General de Análisis y Solución a los Problemas Patológicos en Estructuras de Hormigón Armado.

- Inspección y Ensayos: Identifican los daños y establecen las nuevas propiedades y secciones de los elementos constituyentes.
- Evaluación del estado actual de la estructura: Identifica la causa del daño.
- Diagnóstico: Permite definir el nivel de daño y la urgencia de la intervención.
- Reparación: Métodos de reparación, demolición, reconstrucciones.
- Monitoreo: Mantenimiento y supervisión a intervenciones realizadas.



5.3 Procedimiento General de Reparación

En todos los sistemas y procedimientos de reparación se deben considerar dos aspectos fundamentales:

- Tensiones en la interfase entre la reparación nueva y la estructura antigua.
- Interferencia de un equilibrio físico-químico de la estructura existente, principalmente en las proximidades de la región reparada.

En general un proyecto o diseño detallado de la reparación debe siempre ser efectuado a través de un análisis cuidadoso de todas las informaciones o alternativas disponibles de acuerdo a lo presentado en la Figura 5.2.



Figura 5.2: Diagrama a seguir para la reparación de estructuras.



5.3.1 Alternativas de Reparación

Existen varios criterios para seleccionar la mejor alternativa de reparación/rehabilitación, adecuada a las características específicas de la estructura evaluada. El diagrama de la Figura 5.3 muestra aquellas que deben ser consideradas para obtener una mejor solución.

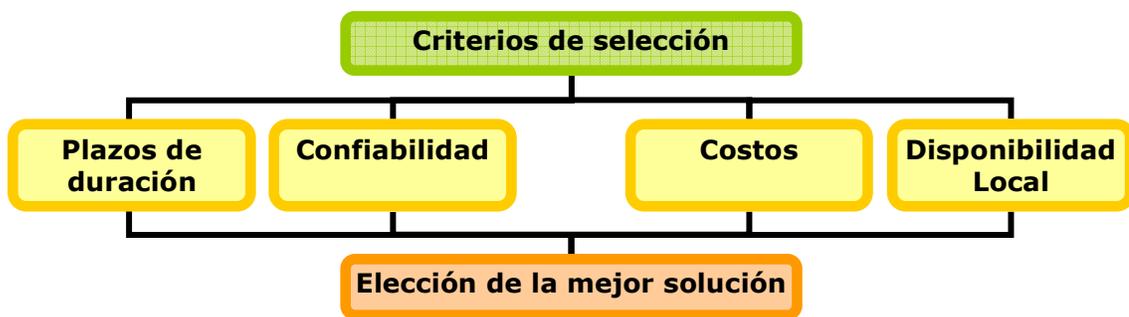


Figura 5.3: Criterios de selección de la alternativa más conveniente.

Se debe considerar al momento de elegir la solución las alternativas de intervención, ya que cada sistema presenta desventajas y ventajas considerables. Las opciones de reparación y rehabilitación son las siguientes:

- Ninguna acción inmediata, solo mantenimiento y monitoreo.
- Reparaciones menores de la estructura y mantenimiento.
- Reparaciones mayores de la estructura y mantenimiento.



5.3.2 Diseño de solución a una patología

Existen variados modos de reparación. La Figura 5.4 informa sobre un procedimiento general para el diseño detallado de la intervención correctiva, donde se muestran las diferentes etapas a seguir en esta actividad.



Figura 5.4: Etapas que constituyen un diseño detallado de la solución de un problema patológico en estructuras de hormigón armado.

Algunas metodologías de reparación se especifican en el Anexo E, a modo de complemento de este capítulo.



CAPÍTULO 6

COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

6.1 Generalidades

Este capítulo pretende exponer algunos comentarios y recomendaciones derivadas del estudio y recopilación referente a la evaluación estructural en edificios de hormigón armado.

Los edificios objeto de estudio, forman parte del patrimonio histórico-artístico, palacios o palacetes, iglesias, fábricas, teatros, etc., y también, edificios sin ningún carácter especial, de construcción relativamente reciente, pero que han sufrido deterioro por el paso del tiempo o por algún fenómeno natural. Como consecuencia de ello y, dado el posible interés que pudiera tener, conocer como abordar, plantear y proceder a la realización de dichos estudios, esta tesis expone el procedimiento a desarrollar.

El criterio general o el fundamento, en un orden natural, es proceder en primera instancia a saber como es el edificio: su construcción, historia, arquitectura, usos, etc., en definitiva, saber todo cuanto sea posible del edificio tal y como es en el momento de iniciar el estudio.

En segunda instancia es necesario saber cómo está el edificio: los daños y alteraciones que presenta, deterioros, procesos patológicos existentes y los síntomas de patologías, es necesario detectar todos sus trastornos para conocer a fondo su estado.



A continuación, ante el cuadro de daños detectado, proceder a su diagnóstico, para lo cual es necesario realizar las pruebas y ensayos de los materiales, elementos constructivos, medio ambiente, etc. que proporcionen la información y los datos suficientes de los mismos.

Justamente, el paso siguiente es conocer la capacidad resistente del edificio y, su seguridad.

Finalmente, disponiendo de toda la información necesaria y suficiente de los edificios objeto de estudio, (como son, como están, qué les pasa, por qué les pasa, que función tienen o van a tener, y cuanto resisten), hay que exponer las intervenciones que se recomiendan para la restauración, rehabilitación, reparación, consolidación, reconstrucción o demolición de los mismos.



6.2 Comentarios

Siendo Chile un país extremadamente sísmico y de acuerdo, a la factibilidad de que ocurran eventos sísmicos importantes en el futuro, es imprescindible calcular las estructura de manera de que resistan de forma adecuada, evitando la pérdida de vidas humanas; pero además de esto es importante el conocimiento de cómo se evalúa una estructura que presenta ciertas características de deterioro o peligrosidad, para no disminuir o exagerar los posibles riesgos que esta puede generar a las personas, y demoler o realizar intervenciones innecesarias a una estructura.

La evaluación estructural debe ser considerada, toda vez, que se requiera conocer el nivel de daños de una estructura, realizar una toma de decisiones, realizar cambios de uso, o luego de algún fenómeno natural. Y es este último punto el más crítico, puesto que luego de una catástrofe, como un evento sísmico de gran magnitud, los daños en una zona pueden ser tan generalizados, que se requieran innumerables evaluaciones.

Uno de los problemas, que surge entonces, es la necesidad de evaluadores con cierta experiencia o conocimiento, sin embargo la poca familiarización con el tema por diversos motivos, ya sea porque los estudios de las patologías en el hormigón armado, son relativamente nuevos o porque en las universidades no se dicten asignaturas concernientes con la evaluación de estructuras existentes, puede causar la sobreestimación o subestimación del daño, llevando a la ocupación peligrosa o la demolición innecesaria de los edificios.

La información puede ser altamente subjetiva y depende de la percepción del evaluador en cada caso. Los niveles de daño son definidos con calificaciones lingüísticas como despreciable, medio, severo, muy severo, aceptable, inseguro, dudoso; conceptos que pueden tener una notable variación en su significado según la persona y experiencia de quien los utilice. Por esta razón se puede decir que no existe un límite claramente definido



entre estas valoraciones, sin embargo, la metodología expuesta, aunque ocupa valoraciones lingüísticas, intenta definir los criterios y volver la evaluación lo más cuantitativa posible, determinando porcentaje de elementos afectados, tamaño y tipo de grietas, etc.

Otro factor importante es el tiempo destinado a la evaluación, no siempre se puede disponer del tiempo necesario para realizar una evaluación extensa, debido a la necesidad urgente de obtener los resultados para no exponer la seguridad de las personas, sin embargo, esto puede causar también ciertos problemas debido a la falta de mediciones, ensayos, estudio detallado de elementos u otro, lo que puede llevar a equivocaciones.

Los errores en la evaluación también pueden deberse a la falta de ensayos, como consecuencia de los altos costos que conlleva la realización de diversos tipos de ellos; o el escaso presupuesto para la contratación de evaluadores.

El capítulo 4, presenta una metodología para la evaluación post sísmica rápida, cuyo objetivo principal es dictaminar si las edificaciones que soportaron un sismo pueden mantener su uso o si el ingreso a ellas debe ser restringido o prohibido. Se pretende con esto reducir el número de pérdidas de vidas ante la posibilidad de volcamiento y caída de objetos debido a la ocurrencia de replicas o inestabilidad de la estructura. Con esta información se intenta estimar la magnitud del desastre, identificando solo las características generales de los daños, y determinar si es necesaria una evaluación detallada.

La metodología post sísmica detallada esta basada en mediciones y observación de daños, sin realizar ningún tipo de ensayo, pues también pretende realizarse de forma agilizada; para describir en forma general los daños estructurales, no estructurales y geotécnicos, con la finalidad de considerar si es necesaria una evaluación de ingeniería.



A diferencia, de la evaluación post sísmica presentada, la evaluación estructural rápida, considera la realización de ensayos e inspecciones, y si se considera que es necesaria una evaluación detallada, además de la realización de ensayos, se requiere el recálculo estructural, incluyendo todas las modificaciones de las propiedades de los materiales constituyentes. Claramente esta metodología involucra un estudio mas acabado del edificio, pero es mucho más extensa que la evaluación post sísmica que puede ser realizada en un día si es detallada y en una hora si se considera el método rápido.

Los ensayos son claramente la forma más certera de conocer el estado de los materiales componentes de los elementos estructurales, dejando de lado la subjetividad del evaluador y corroborando las observaciones y mediciones realizadas “in situ”, de manera de entregar resultados lo más certeros posibles.

Por otro lado, la existencia de estructuras antiguas y la modificación continua de los códigos y normas de diseño utilizadas debido a la experiencia adquirida en el tiempo, lleva a considerar imprescindible la realización de un recálculo estructural a dichas estructuras, toda vez que presenten algún indicio de daño.



6.3 Recomendaciones

Algunas recomendaciones:

- Es imprescindible disponer de una adecuada documentación como base de partida, previamente al inicio de los trabajos, como edad y uso de la estructura, planos o esquemas, tipo de ambiente en el que esta inmerso el edificio y/o elemento, entre otros.
- Realizar un cronograma, Gantt o similar de manera de generar una estrategia de intervención, planificar los elementos a ensayar, realizar un estudio de costos; todo ello con la finalidad de anticiparse a posibles inconvenientes y generar una evaluación estructurada.
- Debido a que en una estructura pueden existir numerosos elementos constituyentes, es ilógico pensar realizar ensayos en cada uno de ellos, por lo que se recomienda generar lotes de elementos que consideren características similares de dimensiones, daños, materialidad, condiciones ambientales, tipos de cargas resistidas u otro tipo de condición que se considere necesaria.
- Realizar un trabajo minucioso, que conlleve un alto grado de fiabilidad de los resultados.
- Teniendo en cuenta que es posible que se pasen por alto fallas en un edificio que comprometen su estabilidad, poniendo en peligro la vida de sus ocupantes, es importante garantizar la evaluación mediante un recálculo estructural.



- En el capítulo 4, se incluyen los factores de minoración de resistencia expuestos por el Código ACI 318 2005 para evaluación de estructuras de hormigón armado existentes, sin embargo, se debe tener especial cuidado en la utilización de ellos. Según el Código ACI, los factores de minoración pueden ser incrementados si se conocen las propiedades de los materiales que componen la estructura mediante ensayos y sus dimensiones. Si el evaluador considera que pueden existir inexactitudes en las mediciones o ensayos, o si no entiende bien los efectos que puede causar una deficiencia en la estructura, se recomienda considerar los factores de reducción de resistencia para estructuras nuevas, también expuestos en el capítulo 4, puesto que son más conservadores.
- Finalmente se recomienda utilizar, los formularios para Inspección y Observación, Evaluación estructural rápida y, además, un Check List, dispuestos en el Anexo F. Todo ello con la finalidad establecer una metodología ordenada y asegurar una correcta y completa ejecución del procedimiento de evaluación.



CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- American Concrete Institute, ACI Committee 201. (2002). *Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-02)*. Farmington Hills, USA.
- 2.- American Concrete Institute, ACI Committee 224. (1993). *Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures (ACI 224.1R-93)*. Farmington Hills, USA.
- 3.- American Concrete Institute, ACI Committee 318. (2005). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318S-05) and Commentary (318SR-05)*. Farmington Hills, USA
- 4.- American Society for testing and materials, ASTM. (1999). *ASTM C1218-99 Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete*. West Conshohocken, USA.
- 5.- American Society for testing and materials, ASTM. (2002). *ASTM C597-02 Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete*. West Conshohocken, USA.
- 6.- American Society for testing and materials, ASTM. (2006). *ASTM D3633-06 Standard Test Method for Electrical Resistivity of Membrane-Pavement Systems*. West Conshohocken, USA.
- 7.- Bellmunt, R.- Mañá, F. (1991), *Recomendaciones para el reconocimiento sistemático y la diagnosis rápida de forjados contruidos con cemento aluminoso*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. España.



- 8.- Carrasco, F. (2006). *Evaluación de estructuras de hormigón en servicio*. Universidad Tecnológica Nacional. Santa Fe, Argentina.
- 9.- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile ICH. (2005). *Encuentros Profesionales, Fisuración Aceptable en Muros de Hormigón Armado*. Santiago, Chile
- 10.- Instituto Nacional de Normalización, INN. (1985). *NCh 170 Of. 1985 Hormigón-Requisitos generales*. Santiago, Chile.
- 11.- Instituto Nacional de Normalización, INN. (1977). *NCh 1037 Of. 1977 Hormigón-Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas*. Santiago, Chile.
- 12.- Instituto Nacional de Normalización, INN. (2001). *NCh 1171/1 Of. 2001 Hormigón-Testigos de hormigón endurecido-Parte 1: Extracción y ensayo*. Santiago, Chile.
- 13.- Instituto Nacional de Normalización, INN. (1979). *NCh 1565 Of. 1979 Hormigón-Determinación del índice esclerométrico*. Santiago, Chile.
- 14.- International union of laboratorios and experts in construction materials, RILEM. (1988). *RILEM CPC-18 1988 Measurement of hardened concrete carbonation depth*. France.
- 15.- International union of laboratorios and experts in construction materials, RILEM. (2002). *RILEM TC 178-TMC Testing and modelling chloride penetration in concrete*. France.
- 16.- Ortiz, D. (2002). Nuevas Tecnologías de Recuperación y Reparación de estructuras de hormigón armado. *Revista BIT*. 46-47



- 17.- Pérez V., J. (2000). *Patología de Estructuras*. Universidad de la Coruña. España.
- 18.- Rodríguez, J.- Aragoncillo, J.(2000). *Manual de usuario para la evaluación de la vida residual de estructuras de hormigón*. Instituto Valenciano de la Edificación. Valencia, España.
- 19.- Rodríguez, M.- Castrillón, E. (1995). *Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). D.F, México.
- 20.- Rondon, C. (2005). *Manual de Armaduras de refuerzo para hormigón, Gerdau Aza*. Santiago, Chile.
- 21.- Vico, A.- Morris, W.- Vásquez, M., (2004). *Evaluación del avance de la corrosión de refuerzos en estructuras de hormigón*. Universidad Nacional de Mar del Plata. Mar del Plata, Argentina.
- 22.- Villagrán V., M. (1996). *Causas, evaluación y reparación de fisuras y grietas en estructuras de hormigón, Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil*. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.



ANEXOS





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

ANEXO A

INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS “IN SITU” O LABORATORIO



A.1 Ensayo Tipo de cemento

El tipo de cemento, se obtiene realizando 2 ensayos: Ensayo de Sulfatos y Ensayo de Oxina.

Ensayo de Sulfatos

Objetivo

- Detectar la presencia de sulfatos en el hormigón analizado.

Materiales y/o Equipos

- 1 gr. de hormigón triturado.
- Ácido Clorhídrico (HCl) 35% de pureza y diluido en agua 1:1.
- Cloruro Bórico (Cl_2Ba) obtenido de la disolución de 120 gr. de Cl_2Ba en un litro de agua.
- Alicates.
- Balanza
- 2 tubos de ensayo de 10 ml.
- Filtro y embudo.



Esquema del Proceso

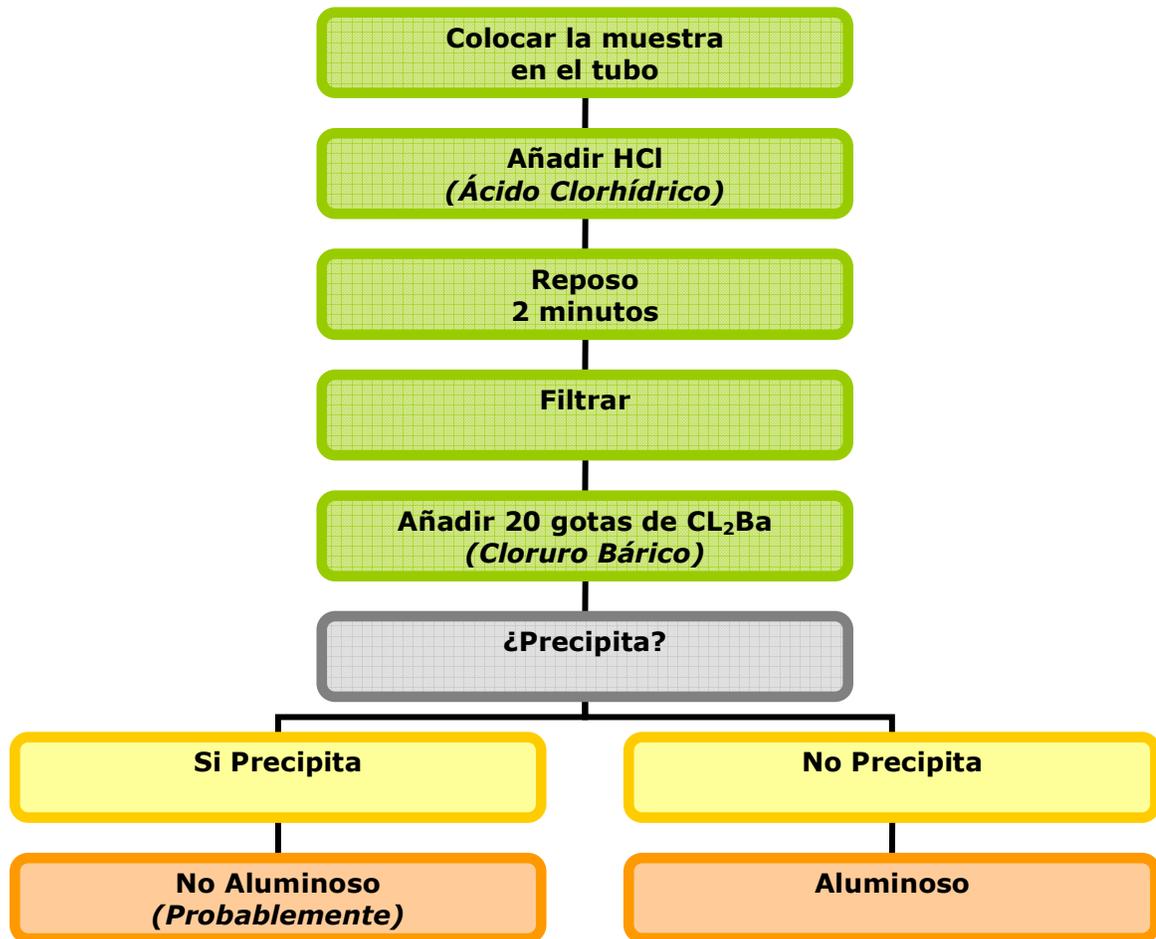


Figura A.1: Esquema del proceso de ensayo de sulfatos.

Algunas consideraciones

- La muestra de hormigón (triturada con alicates), se debe colocar en el tubo de ensayo, y agregar ácido clorhídrico hasta alcanzar el nivel 10 ml.
- La adición de ácido provoca gran efervescencia, por lo que se debe realizar procurando cuidado.



Interpretación de resultados

- Al añadir la solución indicadora de Cloruro Bórico:
 - Aparece un precipitado blanquecino.
La muestra de cemento contiene sulfatos, probablemente el cemento utilizado no es aluminoso.
 - No aparece precipitado.
La muestra no contiene sulfatos, color amarillento en la disolución, es aluminoso.

Ensayo de Oxina

Objetivo

- Determinar si la muestra de cemento contiene gran cantidad de compuestos de aluminio.

Materiales y/o Equipos

- 1 gr. de hormigón triturado.
- Hidróxido Sódico (NaOH) 0.1 N
- Ácido Clorhídrico (HCl) 35% de pureza y diluido en agua 1:1.
- Oxina, disolución de 5 gr. de 8-hidroxiquinoleína con 12 ml. de ácido acético glacial y adición de agua hasta 100 ml.
- Acetato de Amonio, disolución de 40 gr. en 100 ml. de agua.
- 2 tubos de ensayo de 10 ml.
- Filtro y embudo.



Esquema del proceso

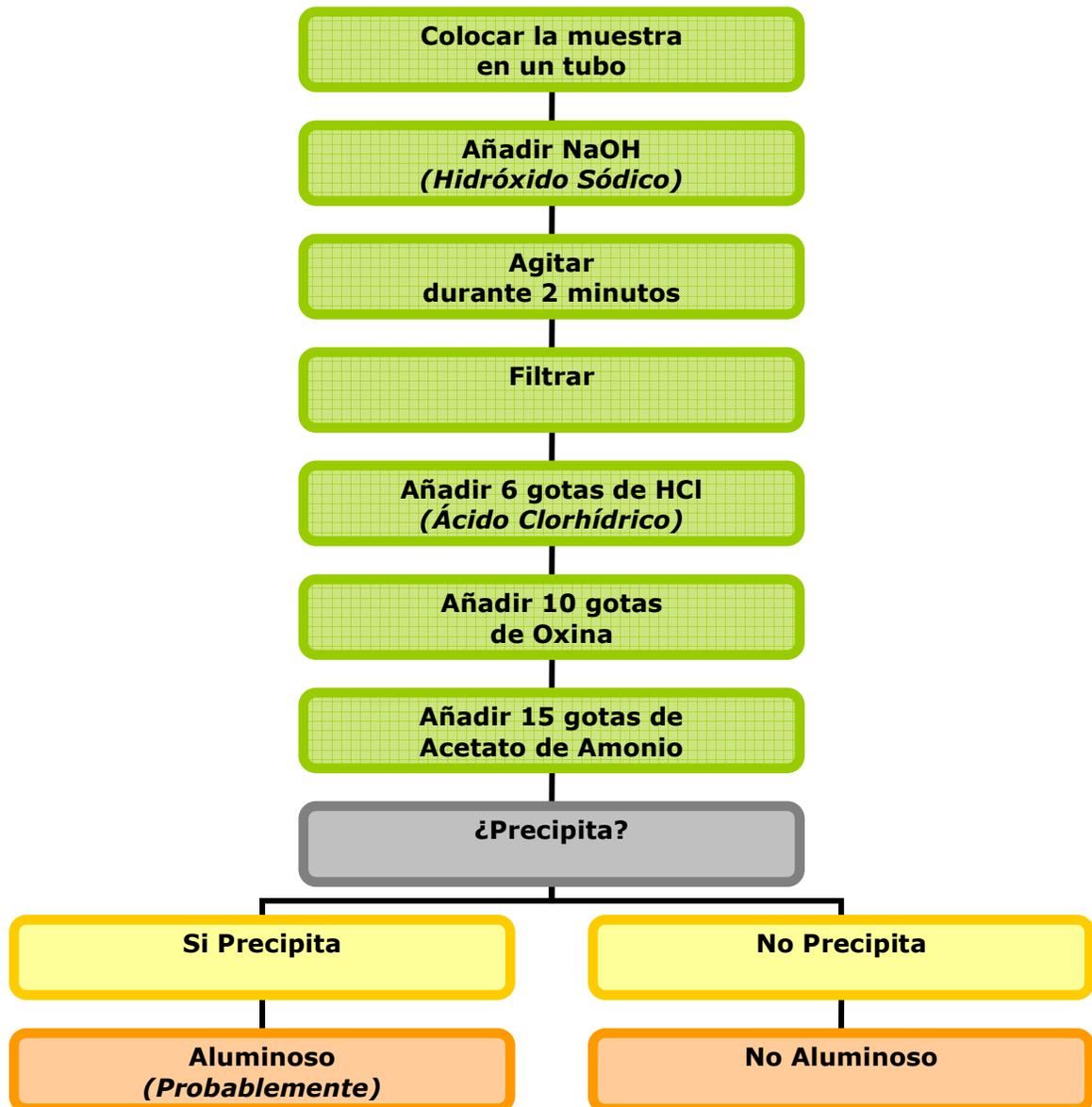


Figura A.2: Esquema del proceso de ensayo de oxina.



Algunas consideraciones

- La muestra de hormigón (triturada con alicates), se debe colocar en el tubo de ensayo, y agregar Hidróxido Sódico hasta alcanzar el nivel 10 ml.
- Al añadir la Oxina, la mezcla adquiere un color amarillento.

Interpretación de resultados

- Al añadir la solución indicadora de Acetato de Amonio:
 - Aparece un precipitado cohesionado o grandes copos amarillentos flotando en la disolución.
Fuerte presencia de compuestos de aluminio. El cemento utilizado es aluminoso.
 - No aparece, de forma clara, ningún precipitado y la disolución mantiene un aspecto turbio y amarillento.
Indica la presencia de un cemento no aluminoso.

Detección del cemento aluminoso: Interpretación de ambos ensayos.

		SULFATOS	
		Precipita	No precipita
OXINA	Precipita	Duda	Cemento Aluminoso
	No precipita	Cemento Pórtland	Error de ejecución

Tabla A.1: Detección del cemento aluminoso: Interpretación de ambos ensayos.



Por lo tanto:

1.- Si la prueba de Sulfatos precipita y la de Oxina no.

Es cemento Pórtland, puede considerarse un resultado fiable.

2.- Si la prueba de Sulfatos no precipita y la de Oxina si.

Es cemento Aluminoso, puede considerarse un resultado fiable.

3.- Si falta precipitado en ambos casos.

Es claro indicador de que la metodología no ha sido aplicada correctamente. Es necesario repetir la prueba.

4.- Si en ambas pruebas se produce precipitado.

Se consideran tres razones básicas que pueden conducir a esta situación de duda.

- La muestra analizada contiene una mezcla de cemento Pórtland y Aluminoso.
- La muestra analizada esta contaminada con sulfatos. Esta contaminación puede producirse por restos de yeso, agua sulfatada y/o áridos sulfatados; conduciendo a la precipitación (cemento no aluminoso) erróneamente, lo que podría indicar por lo tanto, que el cemento pudiese ser aluminoso.
- Si el hormigón se halla fuertemente carbonatado, puede dar lugar a un precipitado en la prueba de la oxina (cemento aluminoso) erróneamente, lo que podría indicar que el cemento no es aluminoso.



A.2 Ensayo de Carbonatación

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma RILEM CPC-18 1988 (Measurement of hardened concrete carbonation depth)

Objetivos

- Determinar la presencia de carbonatación en el hormigón.
- Medir la profundidad del frente carbonatado.

Materiales y/o equipos

- Solución Indicadora (de fenolftaleína al 1%): Para la preparación de 500 g de esta solución se requiere, disolver 5 g de fenolftaleína en polvo en 250 g de agua destilada y 245 g de alcohol puro.
- Rociador.
- Pie de metro y/o Huincha de medir.



Esquema del proceso



Figura A.3: Esquema del proceso para ensayo de carbonatación.

Algunas consideraciones

- Esta solución puede ser aplicada a probetas testigo o sobre el elemento estructural “in situ”.
- La superficie fracturada debe estar seca y limpia de partículas sueltas.
- La solución debe emplearse mediante pulverización y esperar de 15 a 30 minutos para observar si se aprecia coloración.
- Cuando no se aprecie coloración como resultado de la prueba, se indicará que el frente de carbonatación ha llegado hasta el nivel de la armadura (recubrimiento carbonatado).
- Para conocer la profundidad del frente carbonatado, se debe seguir profundizando hasta que se aprecie coloración. Si se supera el doble del espesor de recubrimiento



de la armadura y no se aprecia coloración, no será necesario seguir profundizando, pues en este caso es muy probable que el hormigón tenga un proceso de carbonatación avanzado.

- Para cada elemento o testigo debe medirse la profundidad de carbonatación utilizando pie de metro y/o huincha de medir.

Interpretación de resultados

- La Solución Indicadora puede tomar las siguientes coloraciones:
 - Hormigón no carbonatado: coloración rojo - púrpura o fucsia.
Valores de pH > 12.5
 - Hormigón con indicios de carbonatación : coloración rosa
Valores de pH entre 9 y 12,5
 - Hormigón carbonatado: incolora
Valores de pH < 9
- Según esta norma, la profundidad de carbonatación desde la superficie de exposición hasta la zona carbonatada se denomina d_k y considera diversas formas de determinar dicha distancia.

Existen tres formas de medir la profundidad de carbonatación d_k dependiendo de la forma en que se presente dicha carbonatación:

- Frente paralelo y regular a la superficie de exposición. En este caso la profundidad de carbonatación tiene un valor constante. Ver Figura A.4a.



- Frente paralelo e irregular a la superficie de exposición. En este caso la profundidad de carbonatación se estima como el promedio de las distintas profundidades de carbonatación. Ver Figura A.4b.
- Frente paralelo y constante pero con una irregularidad. En este caso no se debe considerar el promedio, omitiendo así la irregularidad. Ver Figura A.4c.

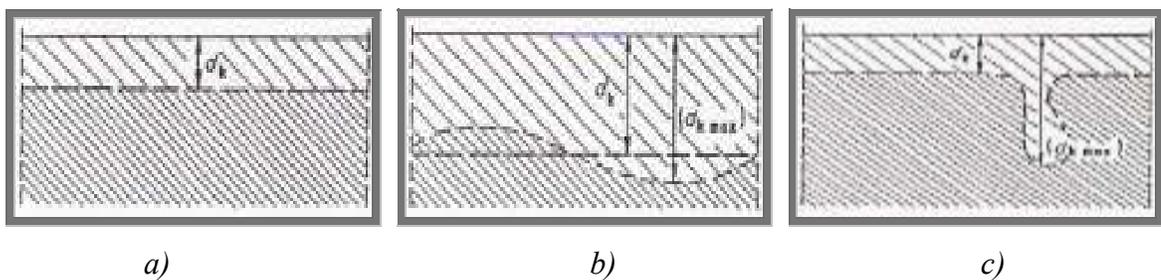


Figura A.4: Medición de profundidad de carbonatación.

Fuente: Norma RILEM CPC-18 1988.



A.3 Ensayo de Cloruros

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado RILEM TC 178-TMC, para cloruros libres.

Objetivo

- Establecer si existe presencia de cloruros en el hormigón en una cantidad suficiente para provocar corrosión en el hormigón.

Materiales y/o Equipos

- 1 gr. de hormigón triturado.
- Ácido Nítrico (HNO_3) 60% de pureza y diluido en agua 1:1.
- Fenolftaleína.
- Cromato de Potasio (CrO_4K_2)
- Hidróxido Sódico (NaOH)
- Nitrato de Plata (AgNO_3) 0.02N
- Alicates.
- Balanza.
- 2 tubos de ensayo, para 10 ml.
- Filtro y Embudo.



Esquema del proceso

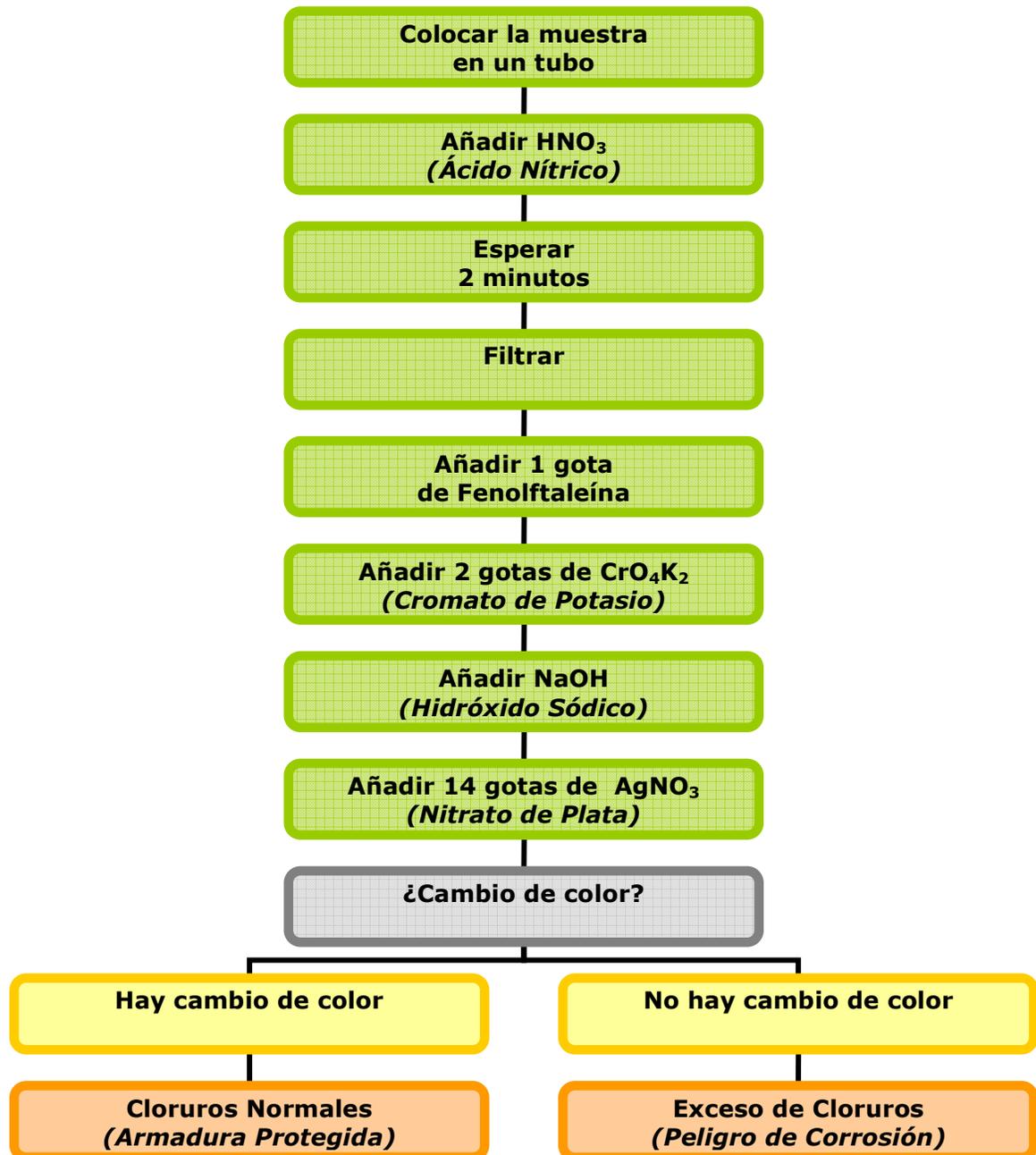


Figura A.5: Esquema del proceso para ensayo de cloruros.



Algunas consideraciones

- La muestra de hormigón (triturada con alicates), se debe colocar en el tubo de ensayo, y agregar ácido nítrico hasta alcanzar el nivel 10 ml.
- La adición de ácido provoca gran efervescencia, por lo que se debe realizar procurando cuidado.
- Se debe añadir NaOH hasta adquirir una tonalidad rojizo/amoratada.
- Añadir el Nitrato de Plata, gota a gota, hasta obtener una tonalidad rojo/amoratada.
- El cambio de color se produce debido a que si ya no quedan iones cloruro por reaccionar, el ion plata reacciona con el ion cromato y se produce un cambio de color en la disolución.

Interpretación de resultados

- Al añadir la solución indicadora de Nitrato de Plata hay cambio de color utilizando:
 - Menos de 14 gotas
Pocos cloruros, no existe peligro de corrosión.
 - Mas de 14 gotas
Exceso de cloruros, existe peligro de corrosión.

Observación

a) Este ensayo puede realizarse de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM C1218/99 Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete

Esta Norma se basa en el método potenciométrico

- Consiste en medir la cantidad de cloruros libres, reportado como peso porcentual, presentes en el hormigón ensayado.



- La extracción de muestra obtenida en situ o por medio de probetas, debe ser conseguida, por medio de brocas de diámetro: 3mm si es mortero y 4 mm si es hormigón. Esta muestra debe pesar por lo menos 25 gr.
- La determinación de cloruros se realiza en laboratorio por medio de análisis químico.
- La Interpretación de resultados:

Los datos entregados por el Laboratorio, se deben comparar con los valores límites de cloruros estipulados en la Tabla A.2.

Límite	Tipo de Hormigón	Referido a
0.06% de cloruros libres.	Pretensado.	cemento
0.15% de cloruros libres.	Armado, con exposición a cloruros.	cemento
1.00% de cloruros libres.	Armado, en ambiente seco.	cemento
0.30% de cloruros libres.	Hormigón armado, resto de los ambientes.	cemento

Tabla A.2: Limitación del contenido de cloruros.

Fuente: ACI 318 (2003)

b) Para la medición de la profundidad de penetración de cloruros las probetas deben ser ensayadas por el método colorimétrico.

- Las probetas deben ser seccionadas, en el caso de probetas cilíndricas, los planos posibles de corte son los de las generatrices y directrices.
- El hormigón debe teñirse con una solución 0.1 N de nitrato de plata, esperar un minuto y rociar la solución de dicromato de potasio, con lo cual se puede apreciar dos zonas claramente diferenciales.

La Solución Indicadora puede tomar las siguientes coloraciones:

- Hormigón contaminado (presencia de cloruros) : Coloración blanca – amarilla.
- Hormigón no contaminado (ausencia de cloruros) : Coloración terracota.



A.4 Ensayo Destructivo

A.4.1 Extracción de Testigos de Hormigón

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma Chilena NCh 1171/1 of.2001.

Objetivos

- Conocer el estado de la resistencia actual de un hormigón de una estructura existente, mediante Ensayo de Compresión, según NCh 1037 of.1977.
- Observar fisuras y/o grietas.
- Conocer el nivel de carbonatación y cloruros del hormigón.

Materiales y/o Equipos

- Taladro con sonda rotatoria

Algunas consideraciones

- Se debe evitar la presencia de cualquier tipo de armadura u otro elemento en el testigo.
- Los testigos deben extraerse de preferencia en puntos de momento nulo, que en las vigas suele corresponder a 1/5 de la luz y en pilares a la mitad de su altura.
- Se deben cortar los extremos de cada testigo asegurando la planeidad, es decir, no deben existir resaltes mayores a 1 mm.
- El diámetro de cada testigo debe ser mayor o igual a dos veces el tamaño máximo nominal, D_n , del árido grueso.



- El testigo debe tener una altura original tal, que permita obtener posteriormente una esbeltez comprendida entre 1.0 y 2.0.
- Los testigos que posean grado de resistencia inferior a H45 se deben refrentar según NCh 1172 of.1978. Este refrentado debe efectuarse a las caras de carga, tener un ancho menor a 5mm y una longitud mayor o igual al diámetro del testigo sin sobrepasarlo en más de 3mm; y puede ser realizado con pasta de azufre o de yeso, verificando la adherencia de ésta a la probeta.

Ensayo de Compresión de Probetas Cilíndricas

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma Chilena NCh 1037 of.1977.

Objetivos

- Conocer el estado de la resistencia actual de un hormigón de una estructura existente, mediante probetas cilíndricas obtenidas según NCh 1171/1 of.2001.
- Calcular la densidad aparente.

Materiales y/o Equipos

- Prensa de ensayo
- Regla graduada en mm. con longitud igual o superior a 400 mm.
- Balanza con capacidad igual o superior a 25 kg. y precisión igual o superior al 0.1% de la pesada.



Algunas consideraciones

- Medir dos diámetros perpendiculares entre sí (d_1 y d_2) aproximadamente a media altura; y la altura de la probeta en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2) antes de refrentar, aproximando en 0.1 cm.
- Determinar la masa del cilindro (m) antes de refrentar, aproximando a 10g.
- Aplicar la carga en forma continua y sin choques, a velocidad uniforme cumpliendo: Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 100 segundos y a una velocidad de aplicación de carga no superior a 3.5 kgf/cm²/s.

Cálculos e interpretación de resultados

- Registrar la carga máxima (P_n), en kgf.
- Calcular dimensiones promedio de la probeta:
 - Altura promedio (\bar{h}), en cm.

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (\text{Ec. A.1})$$

- Diámetro promedio (\bar{d}), en cm.

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (\text{Ec. A.2})$$



- Calcular resistencia a la compresión del hormigón (R_c), en kgf/cm^2

$$R_c = \frac{4 \cdot P_n}{\pi \cdot \bar{d}^2} \quad (\text{Ec. A.3})$$

- Calcular la densidad aparente del hormigón (D_a), en g/cm^3

$$D_a = \frac{4 \cdot m}{\pi \cdot \bar{d}^2 \cdot \bar{h}} = \frac{1.27 \cdot m}{\bar{d}^2 \cdot \bar{h}} \quad (\text{Ec. A.4})$$

- Debido a que la resistencia a compresión según NCh 170 of.1985, debe medirse en probetas cúbicas de 200 mm de arista y a la edad de 28 días deben aplicarse factores de conversión a la probeta cilíndrica ensayada, con el fin de clasificar el hormigón de acuerdo a la tabla A.3.

Grado	Resistencia Especificada f_c		Resistencia Característica f_c'	
	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²
H5	5	50	4	40
H10	10	100	8	80
H15	15	150	12	120
H20	20	200	16	160
H25	25	250	20	200
H30	30	300	25	250
H35	35	350	30	300
H40	40	400	35	350
H45	45	450	40	400
H50	50	500	45	450

Tabla A.3: Clasificación de los hormigones por resistencia a compresión.



- Factor de corrección por esbeltez:

Para probetas cilíndricas no normalizadas (es decir, que no poseen diámetro 15 cm y altura 30 cm), entonces se debe aplicar un factor de corrección k_1 .

$$f_{150} = k_1 \cdot R_c \quad (\text{Ec. A.5})$$

Donde,

f_{150} : Tensión de rotura del cilindro, en mm.

R_c : Tensión de rotura del cilindro, en mm.

k_1 : Coeficiente indicado en tabla.

Esbeltez (h/d)	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
K₁	1.00	0.98	0.96	0.93	0.87

Tabla A.4: Factor de corrección por esbeltez del testigo, k_1 .

Fuente: NCh 1171/1 of.2001

- Factor de corrección de probeta cilíndrica a probeta cúbica:

Debido a que la resistencia del hormigón a compresión es clasificada para una probeta cúbica de 200 mm de arista, se debe aplicar un factor de corrección.

$$f_c = k_2 \cdot f_{150} \quad (\text{Ec. A.6})$$

Donde,

f_c : Resistencia especificada.

f_{150} : Tensión de rotura del cilindro, en mm.

k_2 : Coeficiente indicado en tabla.



Resistencia Cilindro MPa	≤ 20	25	30	35	40	45	50
k_2	1.25	1.20	1.17	1.14	1.13	1.11	1.10
Resistencia Cúbica MPa	< 25	30	35	40	45	50	55

Tabla A.5: Factor de corrección de probeta cilíndrica a probeta cúbica, k_2 .

Fuente: NCh 1171/1 of.2001



A.5 Ensayos No destructivos

A.5.1 Ensayo de Esclerometría

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma Chilena NCh 1565 of.1979

Objetivos

- Obtener una estimación de la resistencia del hormigón existente en la estructura.
- Evaluar la uniformidad del hormigón.
- Detectar zonas de hormigón pobre o deteriorado.

Materiales y/o Equipos

- Martillo de Schmidt: martillo de acero impulsado por resorte, cuyo rebote se registra en una escala lineal incorporada al instrumento.

Algunas consideraciones

- Valor estimativo de la resistencia del hormigón con una exactitud no mayor a un 20 o 25%.
- Elemento de hormigón a ensayar debe poseer un espesor igual o superior a 100 mm.
- Una vez seleccionada la ubicación, se debe marcar una superficie de ensayo de cuadrada de a lo menos 200 mm por lado.
- Hormigones con la capa superficial carbonatada o sobre seis meses de edad deben desgastarse a una profundidad de 5 mm.
- A fin de disminuir los efectos de secado se debe humedecer completamente la superficie por 24 horas previas al ensayo.



- Los ensayos deben efectuarse con un mismo martillo, el que debe sujetarse firmemente en posición perpendicular a la superficie de ensayo. La posición normal es la horizontal y en caso de utilizarse en otras posiciones, las lecturas deben ser corregidas de acuerdo a las indicaciones del fabricante.
- En el caso de las losas éstas deben ser ensayadas por su cara inferior.
- El martillo se presiona gradualmente hasta que se dispara. Después de cada disparo se examina el lugar del impacto y si se nota trituración o daño superficial se descarta la medida. Si el punto de impacto se nota sano se registra la lectura aproximándola a la menor división de la escala y se repite la operación hasta completar 10 valores.

Cálculo e interpretación de resultados

- Si el punto de impacto se nota sano registrar la lectura aproximándola a la menor división de la escala y repetir la operación hasta completar 10 valores.
- Sacar el promedio de las 10 lecturas realizadas y descartando aquellas que difieren en más de 7 puntos con respecto a este valor. Si las lecturas descartadas son 3 o más, el ensayo debe repetirse.
- Calcular el índice esclerométrico como el promedio de las 8 o más lecturas que se consideraron apropiadas.
- Calcular la dispersión media (Δ), en MPa

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Ec. A.7})$$

Donde,

x_i : Lectura i del Martillo de Schmidt, en MPa

\bar{x} : Promedio de las lecturas del Martillo de Schmidt consideradas apropiadas, en MPa



- Calcular la Resistencia a la compresión de cubo en MPa por medio del gráfico, utilizando la dispersión media, el índice esclerométrico y el ángulo de la posición del del martillo con respecto a la horizontal.

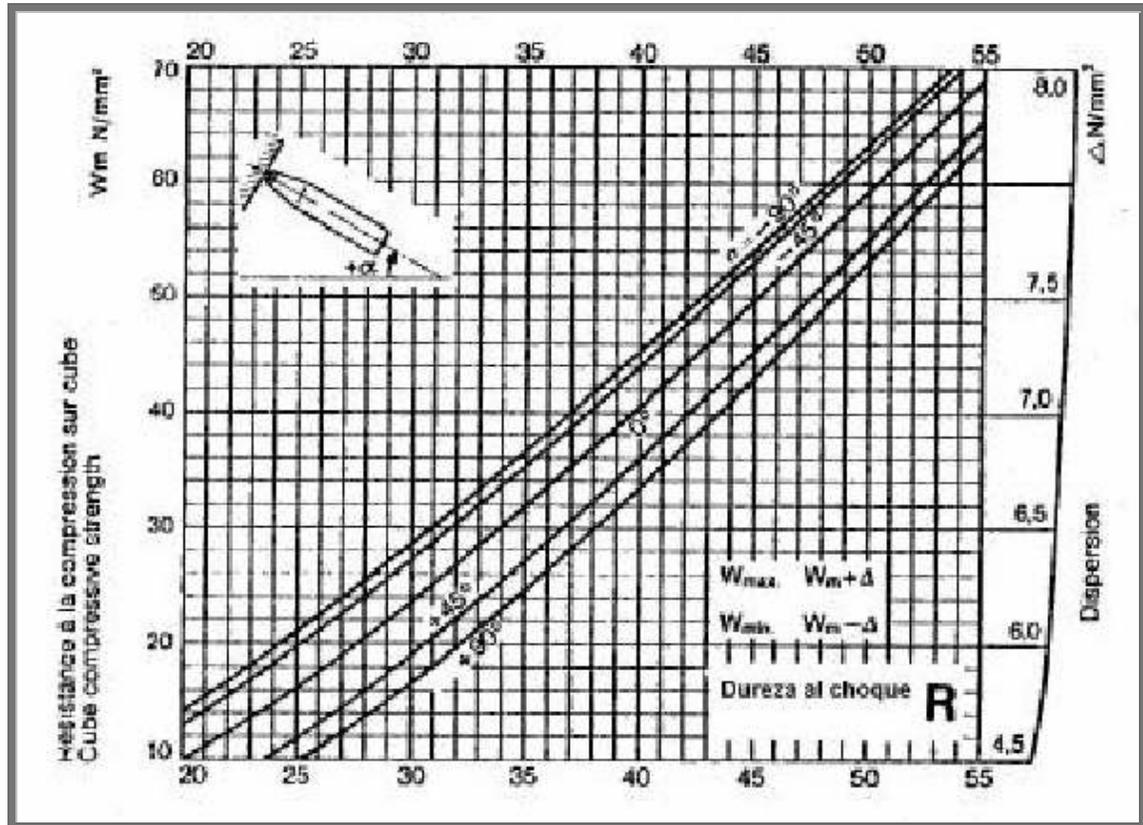


Figura A.6: Correlación entre el Índice esclerométrico y la Resistencia a la compresión.

Fuente: Materiales de construcción, Prácticas de laboratorio, Universidad de Alicante.



A.5.2 Ensayo de Ultrasonido

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma de la Asociación Norteamericana ASTM C597-02.

Objetivos

- Determinar la uniformidad del hormigón.
- Establecer la profundidad e inclinación de las fisuras presentes en el hormigón.

Materiales y/o Equipos

- Equipo de ultrasonido.
- Huincha de medir.

Algunas consideraciones

- La transmisión puede ser directa, semidirecta o indirecta. Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida.

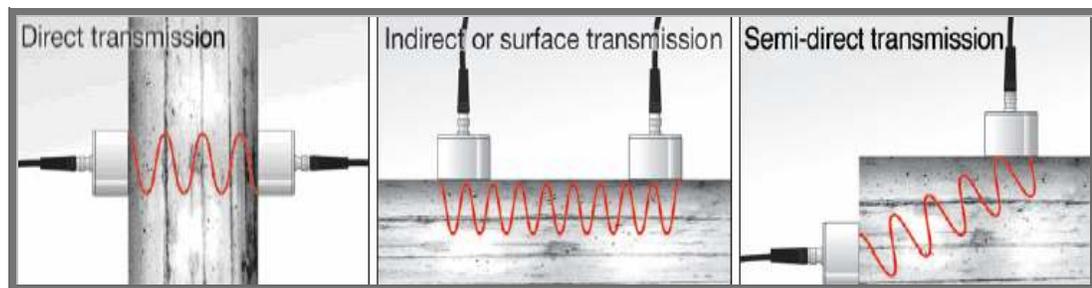


Figura A.7: Tipos de transmisión.

Fuente: Mediciones no destructivas en sitio, www.proceq.com



- Cuando hay una fisura en el hormigón, el pulso ultrasónico permitirá determinar su profundidad e inclinación. Para obtener la profundidad, las mediciones se harán colocando los transductores uno a cada lado de la fisura a una distancia “x”, procurando que sean en la parte más gruesa de la misma. A continuación se repetirá la lectura a doble distancia de la anterior.

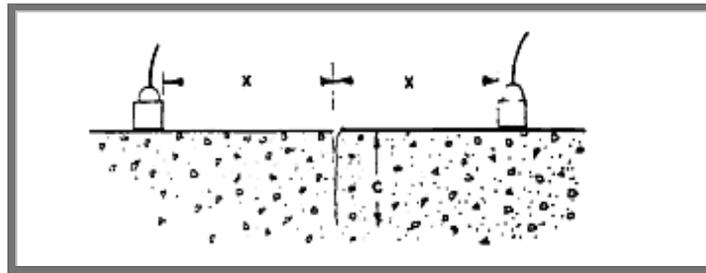


Figura A.8: Medición profundidad de grietas.

Fuente: Grupo de Hormigón-Universidad Católica de Valparaíso, Apunte Ultrasonido.

- Para determinar la inclinación de la fisura, se colocan los transductores a los lados de la fisura y después se mueve uno de ellos alejándolo de ella. Si al efectuar esta operación la lectura del tiempo de propagación disminuye, significa que la fisura presenta inclinación hacia ese lado.

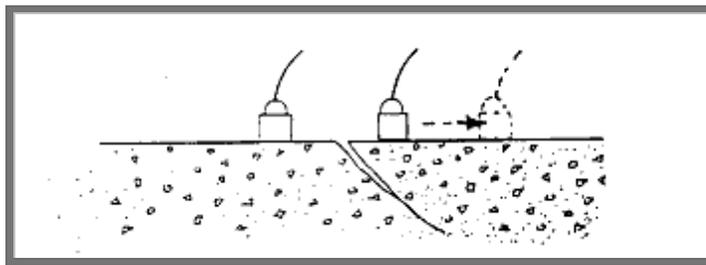


Figura A.9: Medición de inclinación de grietas.

Fuente: Grupo de Hormigón-Universidad Católica de Valparaíso, Apunte Ultrasonido.



Cálculos e interpretación de resultados

- El primer resultado que se debe obtener de los datos recopilados es la velocidad de pulso en el elemento que se va a ensayar, la cual se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$V_p = \frac{d_i \cdot 10}{t} \quad (\text{Ec. A.8})$$

Donde,

V_p : Velocidad de pulso, en Km/s.

d_i : Distancia entre transductores, en cm.

t : Lectura de tiempo, en μ s.

- La velocidad se determina para las tres lecturas realizadas a cada elemento y, posteriormente, se obtiene un promedio. Esta velocidad de pulso es la más conveniente. Con este dato, podemos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en las tablas siguientes.

Velocidad de Pulso (m/s)	Condición del Hormigón
> 4570	Excelente
3650-4570	Buena
3050-3650	Regular-Dudosa
2130-3050	Pobre
< 2130	Muy Pobre

Tabla A.6: Evaluación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de pulso, según Leslie y Cheesman.

Fuente: Grupo de Hormigón-Universidad Católica de Valparaíso, Apunte Ultrasonido.



- Algunos criterios de aceptación.

Tipo de Obra	Velocidad mínima de pulso (m/s)
Secciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de Hormigón reforzado	4360
Marcos de edificios de hormigón reforzado	4110
Losas de entrepiso	4720

Tabla A.7: Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas.

Fuente: Grupo de Hormigón-Universidad Católica de Valparaíso, Apunte Ultrasonido.

- Para determinar la profundidad de una fisura, se cuentan con dos tiempos t_1 y t_2 para distancias x y $2x$, respectivamente, dicha profundidad se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$C = x \left(\frac{4(t_1^2 + t_2^2)}{t_2^2 - t_1^2} \right)^{0.5} \quad (Ec. A.9)$$

Donde.

- C : Profundidad de la grieta, en mm.
- x : Distancia inicial, en mm.
- t_1 : Tiempo de la distancia inicial (x), en s
- t_2 : Tiempo del doble de la distancia inicial (2x), en s.



A.5.3 Ensayo de Resistencia Eléctrica

Este ensayo se realiza de acuerdo a lo estipulado en la Norma de la Asociación Norteamericana ASTM D3633-06.

Objetivo:

- Medir la resistencia del concreto, con el fin de pronosticar la presencia de corrosión en la armadura.

Algunas consideraciones:

- El procedimiento implica la medición de la resistencia entre el acero de refuerzo y una esponja sobre la superficie de concreto.
- Se puede aplicar a cualquier elemento con una capa impermeabilizada no conductora, previendo que el acero de refuerzo no contenga ningún recubrimiento epóxico.
- Puede ser realizado directamente sobre la superficie de la estructura o en testigos de hormigón.

Interpretación de los Resultados:

Dependiendo del resultado arrojado por el equipo de medición, se puede pronosticar la presencia de corrosión en la armadura, como se indica en la Tabla A.8.

Resistencia del hormigón (Ωm)	Presencia de corrosión
$\rho > 1000$	Despreciable
$500 < \rho < 1000$	Baja
$100 < \rho < 500$	Moderada
$\rho < 100$	Alta

Tabla A.8: Presencia de corrosión de acuerdo a ensayo de resistividad eléctrica.



A.5.4 Ensayo de Velocidad de Corrosión

Objetivo:

- Medir la velocidad de corrosión para establecer la intensidad de corrosión, es decir, la cantidad de metal que pasa a óxido por unidad de tiempo y de superficie de armadura expuesta al ataque.

Materiales y/o Equipos:

- Equipo de Medición: Potenciostato

Algunas consideraciones:

- Se efectúa mediante un electrodo de referencia, que indica el potencial eléctrico de la armadura, y un electrodo auxiliar que sirve para medir la corriente circulante en el ensayo.
- Las mediciones que se realizan son de Resistencia de Polarización, R_p , para ello se requiere desplazar al sistema de su potencial de equilibrio a otro valor, registrándose las variaciones de potencial (ΔE) y de corriente (ΔI) en el sistema debido a este desplazamiento.

Cálculos e Interpretación de resultados:

- La Intensidad de corrosión se calcula de acuerdo a las Ecuaciones Ec. A.10 y Ec. A.11, que se muestran a continuación:



$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (\text{Ec. A.10})$$

Donde,

R_p : Resistencia de Polarización, en mV/A

ΔE : Variación de potencial, en mV.

ΔI : Variación de corriente, en A.

$$I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (\text{Ec. A.11})$$

Donde,

I_{corr} : Intensidad de corrosión, en A o $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

B : Constante que toma el valor de 26 mV para ensayos in situ.

- Dependiendo de los valores entregados por el equipo de medición, se puede pronosticar el nivel de corrosión existente en la armadura, como se muestra en la Tabla A.9.

Intensidad de Corrosión ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Nivel de Corrosión
$I_{corr} < 0.1$	Despreciable
$0.1 < I_{corr} < 0.5$	Bajo
$0.5 < I_{corr} < 1$	Moderado
$I_{corr} > 1$	Alto

Tabla A.9: Nivel de corrosión de acuerdo a la intensidad de corrosión.



- Si este ensayo no es posible de ser realizado, se sugiere utilizar los valores proporcionados en la Tabla A.10

Designación	Descripción del Ambiente	I _{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	
1. Sin Riesgo de Corrosión			
X ₀	Hormigón en masa o armado: todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos.	0.01	
2. Corrosión inducida por Carbomatación		Parcialmente carbonatado	Totalmente carbonatado
XC ₁	Seco o permanentemente húmedo.	0.01	0.01
XC ₂	Húmedo, raramente seco.	0.1 – 0.5	0.2 – 0.5
XC ₃	Humedad moderada.	0.05 – 0.1	0.1 – 0.2
XC ₄	Ciclos húmedos y secos.	0.01 – 0.2	0.2 – 0.5
3. Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino			
XD ₁	Moderadamente húmedo	0.1 – 0.2	
XD ₂	Húmedo, raramente seco	0.1 – 0.5	
XD ₃	Ciclos húmedos y secos.	0.5 – 5.0	
4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino			
XS ₁	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire, pero no en contacto con el agua de mar.	0.5 – 5.0	
XS ₂	Permanentemente sumergidas.	0.1 – 1.0	
XS ₃	Zonas expuestas a la acción de las mareas o salpicaduras.	1.0 – 10.0	

Tabla A.10: Intensidad de corrosión dependiendo del medio ambiente.



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA**

ANEXO B

**CARTA DE COLORES PARA LA DETERMINACIÓN DE CEMENTO
ALUMINOSO Y CEMENTO PÓRTLAND**



La determinación del tipo de cemento mediante coloración, es una prueba complementaria a la realizada mediante ensayos de oxina y sulfatos.

Las Figuras muestran la coloración superficial e interior que puede adoptar el cemento dependiendo de si es Pórtland o Aluminoso.



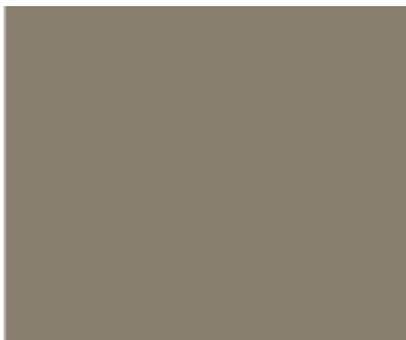
- CEMENTO PÓRTLAND – SUPERFICIAL



PANTONE 402 U



PANTONE 403 U



PANTONE 404 U

Figura B.1: Coloración adoptada superficialmente por el cemento Pórtland.



- CEMENTO PÓRTLAND - INTERIOR



PANTONE Cool Gray 5
U



PANTONE Cool Gray 6
U



PANTONE Cool Gray 7
U

Figura B.2: Coloración adoptada interiormente por el cemento Pórtland.



- **CEMENTO ALUMINOSO – SUPERFICIAL**



PANTONE Warm Gray 5
U



PANTONE Warm Gray 6
U



PANTONE Warm Gray 7
U

Figura B.3: Coloración adoptada superficialmente por el cemento aluminoso.



- **CEMENTO ALUMINOSO – INTERIOR**



PANTONE 4625 U



PANTONE 4635 U



PANTONE 4645 U

Figura B.4: Coloración adoptada interiormente por el cemento aluminoso.



ANEXO C

TABLAS DE CALIFICACIÓN DE DAÑOS



En el reconocimiento visual de las distintas unidades de inspección, se realizará una calificación del daño observado en cada elemento inspeccionado. Las posibles calificaciones a asignar a cada daño observado son las siguientes: Despreciable, Bajo, Moderado y Alto, de acuerdo a lo indicado en las Tablas C.1, C.2, C.3, C.4 y C.5.

A continuación se muestra la simbología utilizada en las Tablas de calificación de daños:

✓ SIMBOLOGÍA DE TABLAS

(*):	Despreciable	: Sin fisuras, Pérdida de sección $\leq 1\%$, Sin corrosión.
	Bajo	: Fisuras $< 0,3$ mm, Pérdida de sección $>1\% - 5\%$, Óxido superficial.
	Moderado	: Fisuras $\geq 0,3$ mm, Pérdida de sección $>5\% - 10\%$, Óxido capa fina.
	Alto	: Desprendimiento en lajas, Pérdida de sección $>10\%$, Óxido capa gruesa.
(**):	Despreciable	: Sin expansión y resistencia muy alta a la demolición.
	Bajo	: Expansión $< 0,3$ mm y resistencia alta a la demolición.
	Moderado	: Expansión $> 0,3$ mm y resistencia media a la demolición.
	Alto	: Expansión $> 2,0$ mm y resistencia baja a la demolición.
(***):	Despreciable	: Sin manchas.
	Bajo	: Humedad esporádica.
	Moderado	: Permanentemente húmedo.
	Alto	: Presencia de hongos.



Elemento Estructural	Síntoma	Localización	Código	Causa Probable	Calificación del daño	Origen	Material
Vigas	Fisuras Transversales	Cara inferior, en el centro	V1	Falta resistencia a tracción	Alto	Mecánico	Hormigón
		Cara superior marcando la posición de los estribos	V2	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		Distribuidas uniformemente o en cambios bruscos de cuantía mecánica	V3	Retracción Hidráulica	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		Tramos centrales	V4	Variaciones térmicas	Moderado	Higrotérmico	Hormigón
		Distribuidas uniformemente marcando la posición de los estribos	V5	Corrosión de las armaduras	(*)	Electroquímico	Armadura
	Fisuras Longitudinales	Cara superior en el centro	V6	Falta resistencia a compresión	Alto	Mecánico	Hormigón
		Cara superior marcando la posición de las armaduras principales	V7	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		Cara superior marcando la posición de las armaduras principales	V8	Corrosión de las armaduras	(*)	Electroquímico	Armadura
	Fisuras Inclinadas	Alma, cerca de apoyos	V9	Falta resistencia a cortante	Alto	Mecánico	Hormigón

Tabla C.1: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en vigas.

Elemento Estructural	Síntoma	Localización	Código	Causa Probable	Calificación del daño	Origen	Material
Pilares	Fisuras Transversales	No pasantes, distribuidas uniformemente	P1	Falta de resistencia a flexocompresión	Alto	Mecánico	Hormigón
		Cabeza del pilar marcando la posición de los estribos	P2	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		No pasantes, distribuidas uniformemente	P3	Variaciones térmicas	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		Distribuidas uniformemente marcando la posición de los estribos	P4	Corrosión de la armadura	(*)	Electroquímico	Armadura
	Fisuras Longitudinales	Esquinas marcando la posición de la armadura principal	P5	Corrosión de la armadura	(*)	Electroquímico	Armadura
		Mitad superior	P6	Falta resistencia a compresión	Alto	Mecánico	Hormigón
	Fisuras Inclinadas	Mitad superior	P7	Falta resistencia a cortante	Alto	Mecánico	Hormigón

Tabla C.2: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en pilares.



Elemento Estructural	Síntoma	Localización	Código	Causa Probable	Calificación del daño	Origen	Material
Losas	Fisuras Transversales	Distribuidas uniformemente	L1	Retracción Hidráulica	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		Tramos centrales	L2	Variaciones térmicas	Moderado	Higrotérmico	Hormigón
		Cara superior, laterales de la viga	L3	Falta de resistencia a tracción negativa	Alto	Mecánico	Hormigón
	Fisuras Longitudinales o Transversales	Marcando la posición de la armadura principal o de los estribos	L4	Corrosión de las armaduras	(*)	Electroquímico	Armadura
	Fisuras Longitudinales	Superficie del hormigón marcando la posición de la armadura por momento (-)	L5	Asentamiento plástico	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
		En la capa de compresión siguiendo la dirección de las vigas	L6	Retracción Hidráulica	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
	Fisuras Aleatorias	Superficie del hormigón	L7	Retracción Plástica	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
	Fisuras Paralelas	Superficie del hormigón	L8	Retracción Plástica	Bajo	Higrotérmico	Hormigón
	Fisuras en mapa	Superficie del hormigón	L9	Afogado	Bajo	Higrotérmico	Hormigón

Tabla C.3: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en losas.



Elemento Estructural	Síntoma	Localización	Código	Causa Probable	Calificación del daño	Origen	Material
Cualquier elemento de hormigón armado	Fisuras Longitudinales o Transversales	Marcando posición de la armadura principal o de los estribos	E1	Corrosión de la armadura	(*)	Electroquímico	Armadura
	Fisuras en mapa, superficie hinchada	Superficie del hormigón	E2	Ataque químico árido - álcali	(**)	Químico	Hormigón
	Fisuración aleatoria con depósitos blancos	Superficie del hormigón	E3	Ataque químico por sulfatos	(**)	Químico	Hormigón
	Áridos vistos, lavado superficial y descalcificación	Superficie del hormigón	E4	Ataque químico por aguas y ácidos (lixiviación)	(**)	Químico	Hormigón
	Manchas de óxido	Marcando posición de la armadura	E5	Corrosión de la armadura	(*)	Electroquímico	Armadura
	Manchas de humedad	Cualquier ubicación	E6	Fugas, Falla de la impermeabilización	(***)	Higrotérmico	Hormigón

Tabla C.4: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en cualquier elemento de hormigón armado.





Elemento Estructural	Síntoma	Localización	Código	Causa Probable	Calificación del daño	Origen	Material
Muros	Fisuras Horizontales	Mitad inferior del muro	M1	Deformación excesiva del elemento inferior	Bajo	Mecánico	Hormigón
	Fisuras Verticales	Mitad superior del muro	M2	Deformación excesiva del elemento superior	Bajo	Mecánico	Hormigón
	Fisuras Inclinadas	Mitad inferior del muro	M3	Deformación excesiva del elemento superior e inferior	Bajo	Mecánico	Hormigón

Tabla C.5: Calificaciones de daño asignadas a fisuras observadas en muros.



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA**

ANEXO D

FORMULARIOS DE INSPECCIÓN PARA EVALUACIÓN POST SÍSMICA



Con el fin de recopilar toda la información para realizar las distintas evaluaciones, rápida y detallada de la evaluación post sísmica, expuestas en el Capítulo 4, de una forma fácil y detallada, Rodríguez y Castrillón (1992) proponen un formulario para cada evaluación.



Formulario para Inspección post-sísmica. Evaluación Rápida				
I. Identificación del edificio				
	Dirección	:	_____	
	Ciudad	:	_____	
	Zonificación sísmica	:	_____	
	Número de Niveles sobre el terreno	:	_____	
	Sótanos	:	_____	
	Uso	:	_____	
II. Estado de la edificación				
	Descripción	Si	No	Existe duda
	1.) Derrumbe total o parcial, edificación separada de su cimentación o falla de ésta.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	2.) Inclinación notoria de la edificación o de algún entrepiso.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	3.) Daño en miembros estructurales (columnas, vigas, muros, u otro)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	4.) Daño severo en muros no estructurales	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	5.) Movimiento del suelo o deslizamiento de talud.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	6.) Pretilos, balcones u otros objetos en peligro de caer.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	7.) Otros peligros (derrames tóxicos, líneas rotas, etc)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
III. Clasificación global				
	Inspección exterior únicamente <input type="radio"/>	Habitable	<input type="radio"/>	
	Inspección interior y exterior <input type="radio"/>	Cuidado	<input type="radio"/>	
		Insegura	<input type="radio"/>	
IV. Recomendaciones				
	No se requiere evaluación futura (señalar motivos) <input type="radio"/>	Área Insegura (colocar barreras en las siguientes áreas)	<input type="radio"/>	
	_____	_____		
	Es necesaria evaluación detallada <input type="radio"/>	Otros (remover elementos, apuntalar, etc)	<input type="radio"/>	
	Estructural <input type="radio"/> Geotécnica <input type="radio"/>	_____		
	Otra: _____	_____		
V. Comentarios				
	Explicar los motivos principales de la clasificación: _____			



Formulario para Inspección post-sísmica. Evaluación Detallada		
I	Identificación del edificio	
	Dirección	: _____
	Ciudad	: _____
	Zonificación sísmica	: _____
	Número de Niveles sobre el terreno	: _____
	Sótanos	: _____
	Uso	: _____
	Época de construcción	: _____
	Tipo de terreno	: _____
II	Descripción de la estructura	
	Material de la estructura	: _____
	Cimentación	: _____
	Sistema estructural	: _____
	Sistema de piso	: _____
	Estructura de techo	: _____
	Regularidad en planta	Buena <input type="radio"/> Intermedia <input type="radio"/> Mala <input type="radio"/>
	Regularidad vertical	Buena <input type="radio"/> Intermedia <input type="radio"/> Mala <input type="radio"/>
	Daños previos por sismo	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> No se sabe <input type="radio"/>
	Año:	_____
	Reparaciones anteriores	Si <input type="radio"/> No <input type="radio"/> No se sabe <input type="radio"/>
	Año:	_____
III	Evaluación de la seguridad estructural	
	Daño exterior	Nivel de riesgo
		A (Aceptable) B (Intermedio) C (Alto)
	1.) Grietas en suelo, separación de cimentación	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	2.) Valor medio del asentamiento o emersión	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	3.) Inclinación de la edificación, en porcentaje	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
	Daño de miembros estructurales	
	<i>a) Estructura a base de marcos o losa plana reticular</i>	
	Número total de columnas exteriores	: _____
	Relación del número de columnas (o vigas) con grado de daño entre el número de columnas exteriores.	
	Grado IV : _____	< 10% <input type="radio"/> 10% - 30% <input type="radio"/> > 30% <input type="radio"/>
	Grado V : _____	< 5% <input type="radio"/> 5% - 15% <input type="radio"/> > 15% <input type="radio"/>
	<i>b) Estructura a base de muros</i>	
	Longitud total de muros exteriores (m)	: _____
	Relación de la longitud de muros exteriores con grado de daño entre la longitud total.	
	Grado IV : _____	< 10% <input type="radio"/> 10% - 30% <input type="radio"/> > 30% <input type="radio"/>
	Grado V : _____	< 5% <input type="radio"/> 5% - 15% <input type="radio"/> > 15% <input type="radio"/>

(Continúa página siguiente)



Daño interior <i>a) Estructura a base de marcos o losa plana reticular</i> Número total de columnas interiores : _____ Relación del número de columnas (o vigas) con grado de daño entre el número de columnas interiores. Grado IV : _____ < 10% <input type="radio"/> 10% - 30% <input type="radio"/> > 30% <input type="radio"/> Grado V : _____ < 5% <input type="radio"/> 5% - 15% <input type="radio"/> > 15% <input type="radio"/>																																	
<i>b) Estructura a base de muros</i> Longitud total de muros interiores (m) : _____ Relación de la longitud de muros interiores con grado de daño entre la longitud total. Grado IV : _____ < 10% <input type="radio"/> 10% - 30% <input type="radio"/> > 30% <input type="radio"/> Grado V : _____ < 5% <input type="radio"/> 5% - 15% <input type="radio"/> > 15% <input type="radio"/>																																	
IV. Clasificación																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Evaluación Rápida</th> <th>Evaluación Detallada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Habitable</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Cuidado</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Insegura</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> </tbody> </table>		Evaluación Rápida	Evaluación Detallada	Habitable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Cuidado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Insegura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																				
	Evaluación Rápida	Evaluación Detallada																															
Habitable	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																															
Cuidado	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																															
Insegura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																															
V. Evaluación de la seguridad estructural de elementos no estructurales																																	
Daño exterior 1.) Vidrios 2.) Acabados de fachada 3.) Balcones 4.) Pretilos 5.) Otros	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3">Nivel de riesgo</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A (Aceptable)</th> <th>B (Intermedio)</th> <th>C (Alto)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.) Vidrios</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>2.) Acabados de fachada</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>3.) Balcones</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>4.) Pretilos</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>5.) Otros</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> </tbody> </table>		Nivel de riesgo				A (Aceptable)	B (Intermedio)	C (Alto)	1.) Vidrios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	2.) Acabados de fachada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	3.) Balcones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	4.) Pretilos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	5.) Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
	Nivel de riesgo																																
	A (Aceptable)	B (Intermedio)	C (Alto)																														
1.) Vidrios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
2.) Acabados de fachada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
3.) Balcones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
4.) Pretilos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
5.) Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
Daño interior 1.) Muros divisorios 2.) Cielos rasos 3.) Escaleras 4.) Elevadores 5.) Instalaciones (gas, eléctrica, otro) 6.) Derrames tóxicos	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3">Nivel de riesgo</th> </tr> <tr> <th></th> <th>A (Aceptable)</th> <th>B (Intermedio)</th> <th>C (Alto)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.) Muros divisorios</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>2.) Cielos rasos</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>3.) Escaleras</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>4.) Elevadores</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>5.) Instalaciones (gas, eléctrica, otro)</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>6.) Derrames tóxicos</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> </tbody> </table>		Nivel de riesgo				A (Aceptable)	B (Intermedio)	C (Alto)	1.) Muros divisorios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	2.) Cielos rasos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	3.) Escaleras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	4.) Elevadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	5.) Instalaciones (gas, eléctrica, otro)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	6.) Derrames tóxicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Nivel de riesgo																																
	A (Aceptable)	B (Intermedio)	C (Alto)																														
1.) Muros divisorios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
2.) Cielos rasos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
3.) Escaleras	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
4.) Elevadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
5.) Instalaciones (gas, eléctrica, otro)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														
6.) Derrames tóxicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																														

(Continúa página siguiente)



UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA

VI	Recomendaciones	
	Área Insegura (colocar barreras en las siguientes áreas)	<input type="radio"/> _____
	Otros (remover elementos, apuntalar, etc)	<input type="radio"/> _____
VII	Comentarios	
	Explicar los motivos principales de la clasificación: _____ _____	



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANEXO E
ALGUNOS MÉTODOS DE REPARACIONES**



E.1 Inyección de resinas epóxicas en fisuras

Mediante la inyección de resinas epóxicas se pueden adherir fisuras de muy poca abertura, hasta 0,05 mm a intervalos de 1.5m. Sin embargo, a menos que se haya corregido la causa que originó la fisuración, es probable que vuelva a aparecer una fisura cerca de la fisura original.

A excepción de ciertos materiales epóxicos que toleran el agua, esta técnica no es aplicable si las fisuras tienen fugas activas y no se pueden secar.

Limpiar las fisuras: El primer paso consiste en limpiar las fisuras que se hayan contaminado, tanto como sea posible. Los contaminantes tales como el aceite, la grasa, el polvo o las partículas finas del hormigón impiden la penetración y adherencia de la resina epóxica, y reducen la efectividad de las reparaciones. Preferentemente la contaminación se debería eliminar por aspiración o lavado con agua u otras soluciones de limpieza.

Instalar las bocas de entrada y venteo (Accesorios insertados en orificios perforado): Consiste en perforar un orificio en la fisura, de aproximadamente 20 mm de diámetro y entre 13 a 25 mm debajo del vértice de la acanaladura en V. Dentro de este orificio se coloca un accesorio, por ejemplo una boquilla para tubería o vástago de válvula.

Sellar las superficies: La superficie debe ser sellada para impedir que la resina gotee fuera de la fisura antes de que frague. El sellado se puede realizar utilizando material epóxico, cementicio, poliéster u otro material sellador adecuado sobre la superficie de las fisuras y permitiendo que endurezca. Una vez completado el trabajo el sellador superficial puede retirarse.



Mezclar la resina epóxica: Esto se hace por pastones o por métodos continuos. En el mezclado por pastones, los componentes adhesivos se mezclan previamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante. En el sistema de mezclado continuo, dos componentes adhesivos líquidos pasan a través de las bombas de dosificación antes de pasar a través de un cabezal mezclador automático.

Inyectar la resina epóxica: Se pueden utilizar bombas hidráulicas, tanques de presión o pistolas neumáticas.

Si la fisura es vertical o inclinada, el proceso de inyección debería comenzar bombeando resina epóxica en la boca de entrada ubicada a menor altura hasta que el nivel de resina llegue a la boca de entrada inmediatamente superior. Luego la boca de entrada inferior se obtura y el proceso se repite hasta llenar completamente la fisura y obturar todas las bocas.

Si la fisura es horizontal, la inyección debería proceder de la misma manera desde un extremo de la fisura hasta el otro. La fisura está llena cuando la presión se puede mantener. Si la presión no se puede mantener, esto significa que la resina epóxica aún está fluyendo hacia partes de la fisura que aún están vacías o que hay fugas.

Retirar el sellado superficial: Una vez que se ha curado la resina epóxica inyectada, el sellado superficial se debe retirar por trituración u otros medios, según resulte adecuado.



E.2 Costura de fisuras

Coser una fisura consiste en perforar orificios a ambos lados de la fisura, insertar unidades metálicas en forma de U de patas cortas (grampas) y asegurarlas con mortero. Se pueden utilizar costuras cuando es necesario restablecer resistencia a la tracción en fisuras importantes.

Los pasos del procedimiento de costura son perforar orificios a ambos lados de la fisura, limpiar los orificios y anclar las patas de las grampas en los orificios, utilizando un mortero que no se contraiga, o bien un sistema adhesivo en base a resina epoxi. Las grampas deben ser variables en longitud, en orientación, o en ambos aspectos, y se las debe ubicar de manera que la tracción transmitida a través de la fisura no se aplique sobre un único plano dentro de la sección sino que se distribuya sobre cierta superficie.

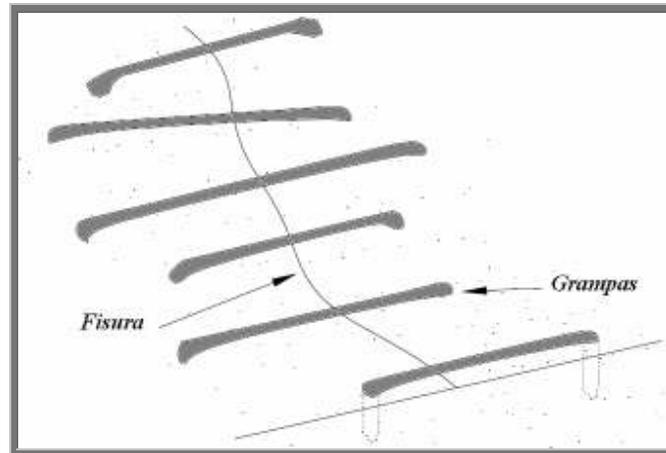


Figura E.1: Costura de Fisuras.



E.3 Armadura adicional como refuerzo convencional en fisuras

Esta técnica consiste en sellar la fisura, perforar orificios de 20 mm de diámetro aproximadamente que crucen el plano de la grieta en forma perpendicular, inyectar adhesivo epóxico en el orificio y la fisura hasta llenarlos y colocar una barra de armadura en el orificio perforado. Típicamente se usan barras $\phi 12$ o $\phi 16$ y se las extiende al menos 0,5m a cada lado de la fisura. La separación de las barras de armadura se selecciona en función de los objetivos de la reparación. Se puede utilizar cualquier patrón de disposición deseado, dependiendo del criterio de diseño y de la ubicación de las armaduras existentes. El material epoxídico adhiere la barra a las paredes del orificio, llena el plano de fisuración, adhiere las superficies de hormigón separadas para formar nuevamente una unidad monolítica y, por lo tanto, refuerza la sección.

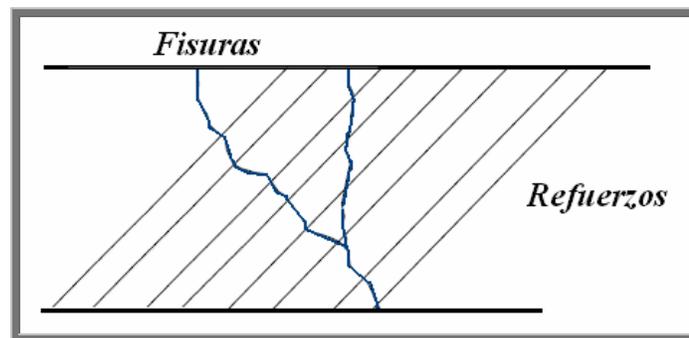


Figura E.2: Armadura adicional como refuerzo convencional en fisuras.



E.4 Armadura adicional pretensada

El postesado es una de las mejores soluciones cuando se debe reforzar una parte importante del elemento, o cuando se deben cerrar las fisuras que se han formado. Esta técnica emplea barras o tensores pretensados para aplicar una fuerza de compresión. Se deben considerar los efectos de este tipo de reparación, pues se puede trasladar o afectar otra parte del elemento.

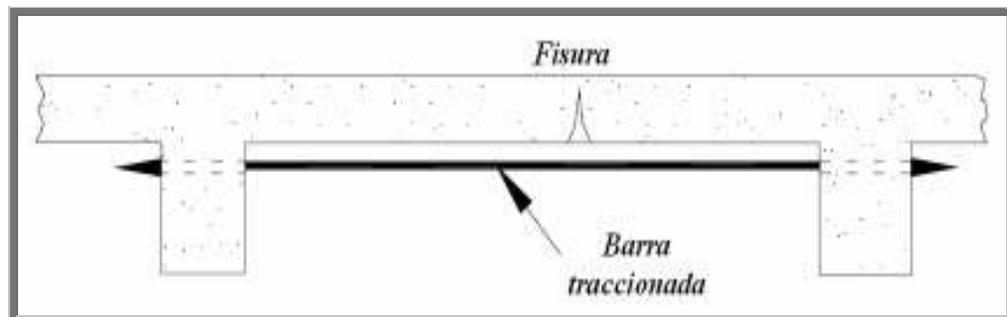


Figura E.3: Armadura adicional pretensada.

E.5 Reparación de grietas mediante mortero u hormigón epóxico

Este procedimiento se utiliza como una alternativa al procedimiento de inyección. La reparación consiste en picar la grieta hasta un ancho de 5 cm y en toda su profundidad, para después rellenar con mortero epóxico, colocado a mano o con guantes, presionando el mortero en la cavidad. Previo a la aplicación del mortero es necesario eliminar de la superficie toda partícula suelta o de polvo e imprimir con un sistema epóxico o puente de adherencia del mismo tipo pero sin árido. En general, para grietas que atraviesan todo el espesor del elemento estructural, la reparación se efectúa por una cara hasta la mitad del espesor, repitiendo el proceso en la otra cara a lo menos 24 horas después.



E.6 Reparación de nidos mediante mortero u hormigón epóxico

Para la reparación de nidos se debe proceder picando el nido, circunscribiéndolo en una figura de ángulos preferentemente rectos, penetrando un mínimo de 5 cm por lado en el hormigón sano. Luego se rellena con mortero epóxico (nidos menores a 5 cm) de la misma forma que para la reparación de grietas. Cuando el volumen a rellenar supera los 10 lts resulta práctico, pero costoso y para limitar el desarrollo interno de calor, se debe agregar al mortero gravilla rodada y limpia en porción 1:1 hasta 1:2 según volumen, incluso puede ser necesario y rentable algún aditivo expansor.

E.7 Aumento de refuerzo

Uno de los sistemas de refuerzo estructural más utilizado consiste en reponer o aumentar la sección de enfierraduras de estructuras de hormigón, a través de planchas de acero, adheridas por medio de masillas epóxicas desde el exterior.

Se debe remover el estuco y quitar la capa superficial de hormigón para eliminar cualquier posible lechada, dejando la superficie lo más lisa y plana posible. Si la superficie de hormigón es muy irregular se debe realizar una nivelación de ésta con mortero epóxico. A continuación, pulir la cara de contacto de la plancha e imprimir con resina epóxica de viscosidad inferior a 500 MPa, aplicar sobre la cara de contacto de la plancha con el hormigón una masilla epóxica tixotrópica de resistencia a la tracción superior a 300 kg/cm², en un espesor de 1 a 2 cm. Colocar la plancha en posición y presionar, mediante gatas o pernos, hasta hacer fluir todo el exceso de masilla por los bordes de la placa, manteniendo presionado y alzaprimado por 24 horas. De acuerdo a ensayos de laboratorio, se recomiendan presiones entre 1 y 2 kg/cm².



Otro de los aumentos de refuerzo más comunes son los insertos superficiales, los cuales consisten en la reposición o aumento de armadura de superficie, ya sea para corregir falta de estribos, mejoramiento de anclajes o armaduras corroídas. El procedimiento consiste en fijar la posición de las armaduras existentes, marcar los bordes de la ranura, cortar con disco (cortador angular), picar el hormigón hasta el borde de la armadura existente. Colocar la nueva armadura amarrada a la existente y comprobar las longitudes de empalme, para finalmente rellenar con mortero epóxico.

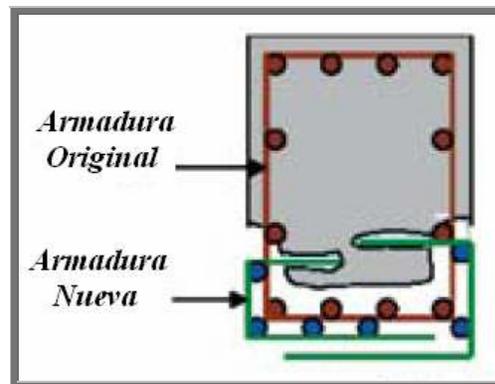


Figura E.4: Ejemplo de Aumento de refuerzo, en un pilar.

Fuente: Revista Concreto N°49

E.8 Reposición del recubrimiento de enfierraduras

El procedimiento básico es el mismo indicado en la reparación de grietas, teniendo cuidado en que el picado penetre a lo menos 1 cm detrás de las enfierraduras.



E.9 Reparación utilizando Fibras de Vidrio

Las fibras de vidrio, desarrolladas en la forma de tejidos de distintos tamaños, permiten que, uniendo la alta resistencia a la tracción de este material y la posibilidad de adaptarse a distintas formas arquitectónicas junto al desarrollo de resinas epóxicas como puente de adherencia y elemento de terminación y protección, se puedan resolver numerosos problemas de daños con increíble facilidad y eficiencia.

Reparación de Columnas

El uso de compuestos híbridos de gran resistencia de fibra/epóxica en columnas de edificios, está diseñado para aumentar la resistencia y ductilidad a estos elementos existentes. La determinación de la cantidad de refuerzo a utilizar dependerá de las condiciones existentes donde se requerirán diferentes grados de confinamiento. Estas técnicas no son incompatibles con el uso conjunto de técnicas de postensado. También se utiliza esta técnica en columnas dañadas por grietas de origen mecánico o corrosión, complementándose con inyecciones epóxicas. La inmensa ventaja de esta técnica, es que permite, en la mayoría de los casos, preservar la forma arquitectónica de la columna sin afectar significativamente las formas y dimensiones originales. También en los casos en que la estructura está en servicio, se puede proceder a reparar sin necesidad de paralizar el funcionamiento del edificio, ocupando mínimo espacio. Todo este proceso, además, no modifica la rigidez de las columnas, de forma que no se altera la distribución de las fuerzas sísmicas de diseño.

Reparación de Vigas y Muros de Hormigón Armado

En muros las grietas diagonales, deben repararse de manera que este recupere su capacidad original. El uso de fibras permite no solamente lograr este objetivo sino, además, incrementar su resistencia al corte sin modificar su rigidez ni su forma., más aún, si se trata de grietas vivas no reparables con procedimientos de inyección epóxica.



Figura E.5: Demostración de aplicación de refuerzo de fibra de vidrio.

Fuente: Nuevas Tecnologías de Recuperación y Reparación de estructuras de hormigón armado, Revista BIT.

E.10 Reparación utilizando Fibras de Carbono

Las fibras de carbono tienen la característica de poseer una gran resistencia a la tracción, llegándose a resistencias últimas superiores a 575 MPa y Módulos de Elasticidad por sobre los 26.1GPa. Esto permite su uso en diferentes formas, como telas flexibles o láminas rígidas para recuperar o reparar diferentes elementos estructurales, principalmente sometidos a flexión.

Recuperación de Vigas y Losas

Es posible reparar o aumentar la capacidad a flexión de vigas y losas, en zonas de momentos positivos como negativos. La versatilidad de las telas de fibra de carbono, permite incrementar la resistencia al corte y la ductilidad de vigas y en algunos casos, el sistema ha sido diseñado para aumentar la rigidez y limitar las deformaciones. Esto se puede realizar con las estructuras en servicio y también donde el espacio de trabajo es muy reducido. Al igual que las fibras de vidrio, no modifica ni formas arquitectónicas ni rigideces de manera indeseable.



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA**

ANEXO F

FORMULARIOS Y CHECK LIST RECOMENDADOS



Con el fin de recopilar toda la información para realizar la Evaluación estructural simplificada, expuesta en el Capítulo 4, se propone lo siguiente:

- Formulario de Inspección, incluye todas las mediciones y observaciones que se deben realizar al elemento y/o edificio a evaluar.
- Formulario para evaluación simplificada, proporciona todos los pasos que se deben realizar para evaluar, en el orden en que se deben realizar y además, cuales son las tablas y ecuaciones que se deben considerar.
- Check list, presenta todos los pasos y procedimientos que se deben realizar para evaluar, en forma simplificada, una estructura.

Los formularios y check list, se presentan de forma fácil y detallada, con la finalidad de facilitar el procedimiento de evaluación, ahorrar tiempo y proceder de manera ordenada.



Formulario de Inspección
Observaciones y Mediciones

Edificio : _____
Uso : _____
Elemento Estructural : _____

I. Aspectos cualitativos del hormigón

(1) Color del Cemento	
(2) Tipo de Cemento	
(3) Resistencia a la demolición	
(4) Calidad del Hormigón	

II. Daños en la armadura

Diámetro de la armadura, en mm	
Diámetro inicial de la armadura, en mm	
Pérdida de sección de armadura, en %	
(5) Capa de óxido	
(6) Nivel de Corrosión	

III. Daños en el hormigón

Ancho de la sección, en cm	
Altura de la sección, en cm	
Ancho inicial de la sección, en cm	
Altura inicial de la sección, en cm	
Espesor de recubrimiento, en mm	
Pérdida de sección de hormigón, en %	
Ancho de fisuras, en mm	
(7) Desprendimiento de lajas	
Ancho de sales o gel expansivo, en mm	
(8) Presencia de humedad	
(9) Presencia de hongos	

IV. Nivel de daño observado, según Tablas Anexo C

	1	2	3	4
Síntoma				
Origen				
Calificación del daño				



- ***Rangos y criterios para completar el formulario de inspección***

Para completar el formulario de inspección, se requiere considerar los siguientes aspectos:

(El formulario presenta una numeración para cada parámetro aquí detallado).

(1) Color del Cemento

Se debe comparar el color que presenta la estructura con la carta de colores propuesta en Anexo B.

Pantone 402 U	Pantone Cool Gray 5 U	Pantone Warm Gray 5 U	Pantone 4625 U
Pantone 403 U	Pantone Cool Gray 6 U	Pantone Warm Gray 6 U	Pantone 4635 U
Pantone 404 U	Pantone Cool Gray 7 U	Pantone Warm Gray 7 U	Pantone 4645 U

(2) Tipo de Cemento

De acuerdo a la similitud que presente la coloración de la estructura con la carta de colores expuesta en Anexo B, se determinará si el cemento es Aluminoso o Pórtland.

Cemento Pórtland Superficial	: Pantone 402 U, 403 U o 404 U
Cemento Pórtland Interior	: Pantone Cool Gray 5 U, Cool Gray 6 U o Cool Gray 7 U
Cemento Aluminoso Superficial	: Pantone Warm Gray 5 U, Warm Gray 6 U o Warm Gray 7 U
Cemento Aluminoso Interior	: Pantone 4625 U, 4635 U o 4645 U

(3) Resistencia a la demolición

Resistencia a la demolición Muy Alta	:
Resistencia a la demolición Alta	
Resistencia a la demolición Media	
Resistencia a la demolición Baja	



(4) Calidad del Hormigón

Buena : Fuerte Resistencia a la demolición y áridos rotos.

Mala : Baja Resistencia a la demolición, aspecto terroso y áridos intactos.

(5) Capa de Óxido

Sin Corrosión, Óxido Superficial, Óxido en capa fina u Óxido en capa gruesa

(6) Nivel de Corrosión

Despreciable : No existe óxido visible, superficie lisa y brillante.

Bajo : Óxido superficial sin aparente pérdida de sección, textura ligeramente áspera, color marrón claro o anaranjado, o marrón bien oscuro.

Moderado : Óxido en capa fina con ligera pérdida de sección, textura rugosa, color marrón oscuro, apariencia pulverulenta, no puede desprenderse fácilmente con la mano.

Alto : Óxido en capa gruesa con pérdida de sección considerable, textura muy rugosa y áspera, aumento de volumen de forma considerable, desprendimiento fácilmente con la mano.

(7) Presencia de humedad

Sin manchas, humedad esporádica o permanentemente húmedo.

(8) Presencia de hongos

Existe presencia de hongos o no existe presencia de hongos.



Formulario Evaluación Estructural Simplificada

Edificio : _____
Uso : _____
Elemento Estructural : _____

I. Agresividad Ambiental

Tipo Ambiente, (Tabla 4.2)

--

Designación, (Tabla 4.2)

--

Puntuación, **AA**, (Tabla 4.3)

--

II. Índice de Daño por Corrosión

Medición	Puntuación (Tabla 4.4)
Profundidad de Carbonatación, en mm	
Profundidad de Cloruros, en mm	
Ancho de Fisuras, en mm	
Resistividad del hormigón, en Wm	
Pérdida de sección de armadura, en %	
Intensidad de Corrosión, en mA/cm ²	
Promedio de Puntuación, IDC	

III. Índice por Corrosión

Puntuación, **AA**, (ver pto. I.)

--

Puntuación, **IDC**, (ver pto. II.)

--

Promedio de **AA** e **IDC**, **IC**

--

IV. Índice Estructural

a) **Elementos a Flexión**

Diámetro de la armadura transversal, en mm
Distancia entre estribos, en mm
Canto efectivo, en mm
Puntuación de Armadura Transversal, (Tabla 4.5)
Diámetro armadura longitudinal, en mm
Cuantía, en %
Tipo de cuantía
Puntuación de Índice Estructural, IE , (Tabla 4.6)



b) *Elemento a Flexo-compresión*

- Díámetro de la armadura transversal, en mm
- Distancia entre estribos, en mm
- Díámetro armadura longitudinal, en mm
- Índice de Pandeo, (Ec. 4.3)
- Puntuación de Armadura Transversal, (Tabla 4.8)
- Distancia entre barras principales, en mm
- Ancho de la sección, en cm
- Altura de la sección, en cm
- Índice de Estallido, (Ec. 4.4)
- Puntuación de Índice Estructural, **IE**, (Tabla 4.9)

V. *Índice de Daño Estructural*

- Consecuencias de Fallo
- Índice por Corrosión (IC), (*ver pto. III.*)
- Índice Estructural (IE), (*ver pto. IV.*)
- Índice de Daño Estructural, **IDE**, (Tabla 4.11)
- Urgencia de intervención, en años, (Tabla 4.12)



<u>CHECK LIST</u>			
1	Observar Coloración del Cemento		
2	Observar Presencia de humedad		
3	Observar Presencia de hongos		
4	Observar Desprendimiento de lajas		
5	Observar Resistencia a la demolición del hormigón		
6	Observar Capa de óxido		
7	Observar Nivel de Corrosión		
8	Realizar Extracción de Testigos		
9	Realizar Ensayo de Esclerometría		
10	Realizar Ensayo de Compresión de Probetas		
11	Realizar Ensayo de Carbonatación		
12	Realizar Ensayo de Cloruros		
13	Realizar Ensayo de Tipo de Cemento		
14	Realizar Ensayo de Resistencia Eléctrica		
15	Realizar Ensayo de Velocidad de Corrosión		
16	Realizar Ensayo de Ultrasonido		
17	Realizar Ensayo de Detección de Armadura		
18	Medir Diámetro de la armadura longitudinal, en mm		
19	Medir Diámetro inicial de la armadura long., en mm		
20	Medir Diámetro de la armadura transversal, en mm		
21	Medir Diámetro inicial de la armadura transv., en mm		
22	Medir Ancho de la sección, en cm		
23	Medir Ancho inicial de la sección, en cm		
24	Medir Altura de la sección, en cm		
25	Medir Altura inicial de la sección, en cm		
26	Medir Espesor de recubrimiento, en mm		
27	Medir Canto efectivo, en mm		
28	Medir Ancho de fisuras, en mm		
29	Medir Ancho de sales o gel expansivo, en mm		
30	Medir Profundidad de Carbonatación, en mm		
31	Medir Profundidad de Cloruros, en mm		
32	Medir Distancia entre estribos, en mm		
33	Medir Distancia entre barras principales, en mm		



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE LA SANTISIMA CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA**

34	Calcular Pérdida de sección de armadura, en %		
35	Calcular Pérdida de sección de hormigón, en %		
36	Calcular Cuantía, en %		
37	Calcular Índice de Pandeo		
38	Calcular Índice de Estallido		
39	Determinar Tipo de Cemento		
40	Determinar Tipo de Ambiente		
41	Determinar Tipo de Cuantía		
42	Determinar Consecuencias de Fallo		
43	Determinar Agresividad Ambiental, AA		
44	Determinar Índice de Daño por Corrosión, IDC		
45	Determinar Índice de Corrosión, IC		
46	Determinar Índice Estructural, IE		
47	Determinar Índice de Daño Estructural, IDE		
48	Determinar Urgencia de Intervención		