

CAPÍTULO I

OBJETIVO DEL CONOCIMIENTO

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento

Actualmente el desarrollo de la construcción se ha basado principalmente en la utilización del hormigón, debido a sus propiedades de durabilidad y rentabilidad y de sus magníficas prestaciones en cuanto a la resistencia al combinarse con el acero. Muchos de estas construcciones sufren problemas en sus estructuras, debido a eso surge la necesidad de ver el estado de las mismas y su posterior análisis de las mismas. Por lo cual, debido a no poseer una guía para una Evaluación Patológica de una estructura, surge la necesidad de elaborar una Metodología de Evaluación Estructural de diferentes elementos de Hormigón Armado en Bolivia.

Por lo cual, realizando la Metodología de Evaluación Estructural de elementos de Hormigón Armado, obtendremos un análisis exhaustivo del proceso patológico recurriendo al sentido inverso, hasta llegar al origen y causa, que nos ayude a dar un diagnóstico de la situación actual y su posterior reparación si el caso lo amerite.

1.1.2 Formulación

¿El desarrollo de una metodología de evaluación de estructuras de Hormigón armado permitirá a profesionales o instituciones de Ingeniería Civil contar con procedimientos claros para una evaluación previo a la reparación y rehabilitación de diferentes construcciones que necesitan ser analizadas?

1.1.3 Sistematización

Dentro del problema encontramos la siguientes sub-preguntas que ayudarán al desarrollo del trabajo investigativo.

¿Una guía permitirá reducir el impacto de los factores que provocan el deterioro en las construcciones y edificaciones?

¿El desarrollo del proyecto de guía de evaluación podrá promover el uso eficiente de técnicas de mantenimiento para contribuir al desarrollo ambiental y la preservación de estructuras?

¿El uso de ensayos no destructivos ayudará a esclarecer las acciones actuantes sobre una estructura?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

El objetivo de este trabajo es de proponer una metodología de 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.

1.2.2 Específicos

A continuación, se detallan los objetivos específicos que se realizan en este trabajo.

- Investigar las patologías que pueden afectar a elementos de hormigón armado, con el fin de proporcionar los conocimientos necesarios para realizar análisis y diagnósticos eficaces.
- Definir una metodología para realizar una inspección a edificios y/o elementos de hormigón armado, cuyo propósito es detectar las lesiones y daños existentes en una estructura.
- 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.
- Presentar algunos esquemas de reparaciones a estructuras de hormigón armado dañadas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Académico

El trabajo de grado tiene importancia por cuanto investigará temas de interpretación de daños presentes en estructuras de hormigón, su evaluación, grado de deterioro, procedimientos de ensayos no destructivos a utilizar.

Permitirá a los profesionales y organismos de Ingeniería Civil establecer reglas claras para mejorar la preservación y mantenimiento de estructuras de hormigón armado, con el fin de lograr todas acciones necesarias para un correcto desempeño de dichas construcciones.

1.3.2 Técnico

El presente trabajo busca, mediante la aplicación y la teoría de los conceptos básicos de un análisis patológico, determinar, analizar y evaluar estructuralmente una estructura.

Este trabajo reúne criterios técnicos, de análisis, de las causas de las fallas o defectos de estructuras de edificaciones, ello significa una interpretación precisa de las fallas, siendo estos originados por defectos de diseño, procesos constructivos incorrectos y cambio de uso de las estructuras entre otros. Por tanto, su posible solución tendrá que ser de tal manera que la estructura, siga cumpliendo su función, sin poner en riesgo la estructura. Por tanto, las propuestas de soluciones deben ser propuestas metodológicas, posibles de realizarlas en las zonas a trabajar.

1.3.3 Social

El proceso de Urbanización acelerado que viven las ciudades, la improvisación al construir, la necesitada de la vivienda económica que obliga a algunos de sus habitantes a edificar en zonas de alto riesgo sin controles de diseño, baja inversión en vivienda, la existencia de viviendas antiguas que amenazan la vida de sus habitantes y en ciertos casos el pésimo manejo de la planificación de futuros daños en proyectos y construcción de viviendas, colegios, hospitales, mercados, etc., con llevan a que las edificaciones presenten problemas estructurales; las pérdidas económicas, sociales, de vidas humanas se presente sin que se realice un estudio de mitigación que prevenga estas situaciones evitando el desarrollo.

1.3.4 Hipótesis

La propuesta de una guía de evaluación de estructuras de Hormigón Armado ayudará a los profesionales e instituciones de ingeniería civil a diagnosticar de manera

acertada las patologías de una estructura usando como herramienta fundamental los procedimientos, metodologías aplicadas a nivel internacional, previo a la rehabilitación y reforzamiento de cualquier edificación

1.4 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.

Brindar una base para la evaluación de estructuras de Hormigón Armado mediante la recopilación, investigación y procesamiento de la información. Cabe notar que el procedimiento no tiene alcance al estudio de las vías, canales, presas, túneles, etc. La aplicación de esta metodología permite inferir el riesgo y vulnerabilidad, ofreciendo elementos para la elaboración de planes de mitigación y prevención, y aportando información que permita ser utilizada en la planificación física y urbana de las ciudades.

Cabe recalcar que este trabajo no pretende crear o elaborar una metodología de Evaluación estructural o Evolución Post Sísmica, sino la de proponer una metodología de Evaluación de Estructuras aplicada en Bolivia, en base a las normas, códigos, libros, revistas, publicaciones y metodologías que se encuentren alrededor del mundo, haciendo énfasis a las más recientes y en las que se podrían aplicar en nuestro país.

El proceso a seguir se basa al igual que indica la Guía Boliviana de Diseño Sísmico, en su capítulo 12 (Vulnerabilidad y refuerzo Sísmico). Toma en cuenta la inspección preliminar en un edificio, que 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.

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.

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 más detallada, se lleva a cabo en las estructuras que se consideran como inseguras o con dudas respecto a su seguridad en la Evaluación Rápida.

CAPÍTULO II
PATOLOGÍAS DEL HORMIGÓN
ARMADO

2.1 INTRODUCCIÓN

En nuestra rama de la Ingeniería Civil la Patología se la puede definir como una parte de ella que estudia los síntomas, orígenes, causas de los daños o problemas que se presenten en las obras civiles. En cambio, se le define a la Terapia como la parte de la ingeniería que estudia los procesos de corrección a esos problemas.

En muchos casos dentro de los procedimientos contemplados en la evaluación se observa una actitud inconsecuente, en algunos casos simplemente se realiza reparaciones superficiales y en otras demoliciones y refuerzos injustificados.

Para que la los procedimientos y sistemas contemplados en la Terapia sean exitosos y funcionales es necesario que el diagnóstico sea acertado y que conozcamos las propiedades de los materiales, así como sus ventajas y desventajas, además que contemos con una mano de obra calificada y un estricto control de calidad.

2.2 PATOLOGÍA DE 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.

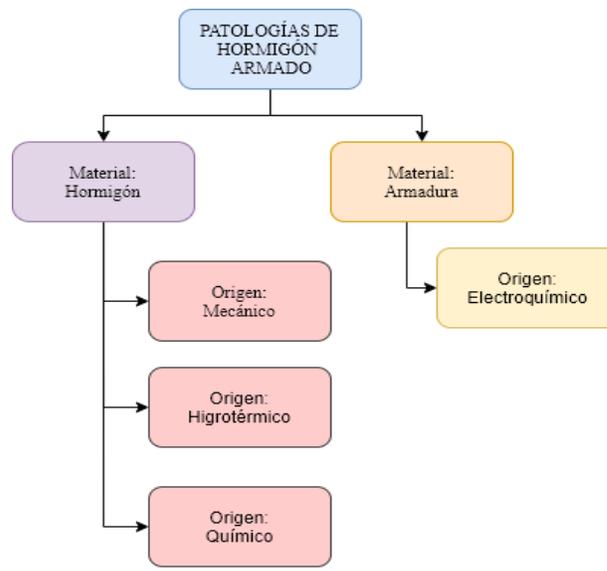


Figura 2.1: Patologías del Hormigón Armado.
Fuente: Propia

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.

2.2.1.1.1 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.

2.2.1.1.2 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.

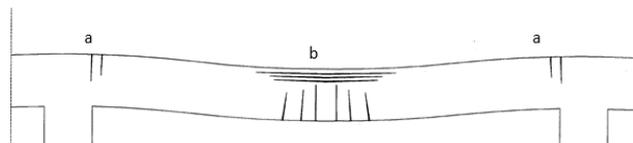
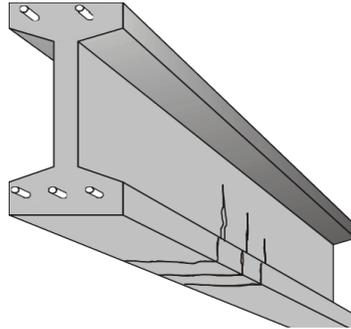


Figura 2.2: a) Fisuración debidas a esfuerzos tracción. b) Fisuras debidas a esfuerzos de compresión

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.

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.



*Figura 2.3: Fisuración Transversales en zonas de tracción
Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.*

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.

b) ***Fisuración longitudinal en vigas debido a esfuerzos de compresión***

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 2.4 Fisuración por compresión.
Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.*

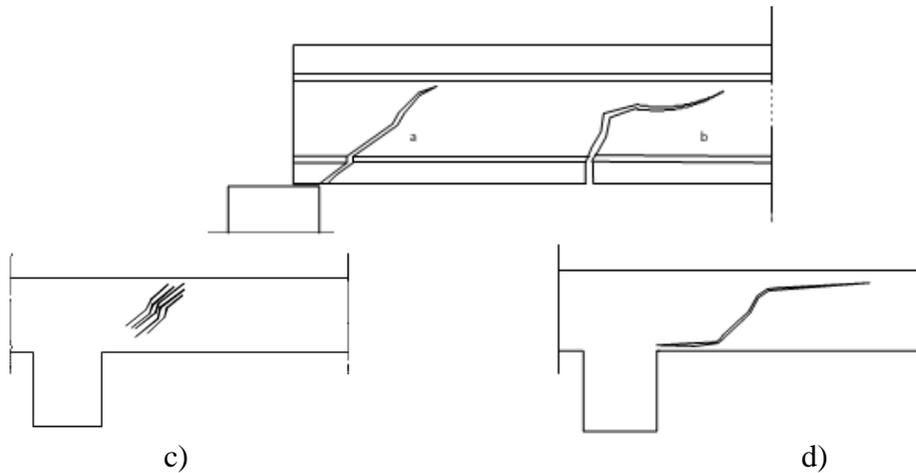
c) *Fisuración inclinada en vigas debido a esfuerzos cortantes*

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. 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, como pueden ser los forjados de semi-viguetas pretensadas.



*Figura 2.5 Fisuración inclinada en vigas debido a esfuerzos de corte.
Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.*

- 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.

2.2.1.1.3 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.

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



Figura 2.6 Fisuración longitudinal en pilares por compresión.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.

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

A diferencia del tipo de fisuración anterior, 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 2.7 Fisuración inclinada en pilares por cortante.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.

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 2.8 Fisuración transversal en pilares debida al pandeo.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.

2.2.1.1.4 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.

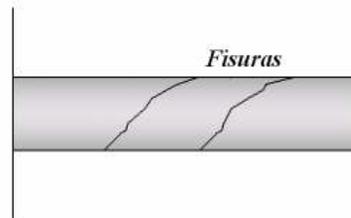


Figura 2.9 Fisuración por torsión

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.

2.2.1.1.5 Fisuras de punzonamiento

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

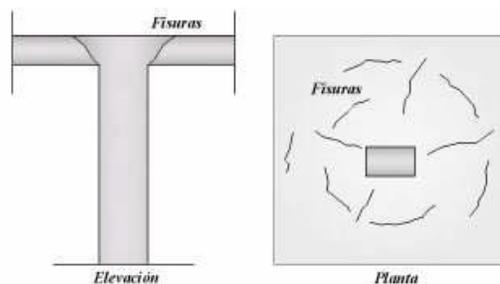


Figura 2.10 Fisuración por punzonamiento.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote.

2.2.1.1.6 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.

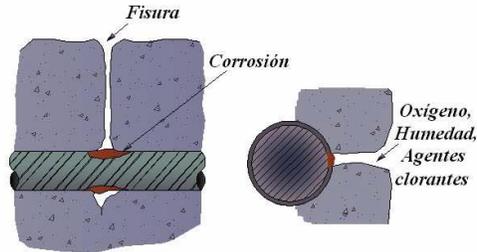


Figura 2.11 Influencia de las fisuras en la corrosión

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

2.2.1.1.7 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.

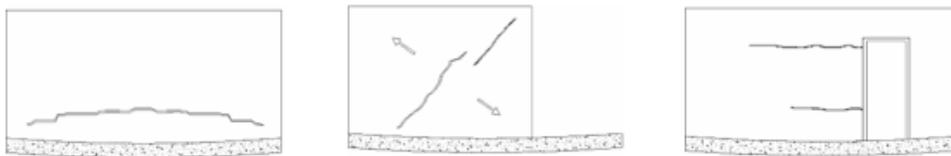


Figura 2.12 Fisuración en muros por deformación excesiva.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

2.2.1.1.8 Deformaciones Diferenciales.

Las deformaciones diferenciales se producen en zonas donde existen piezas adyacentes con distinta rigidez. Suelen aparecer en las siguientes zonas:

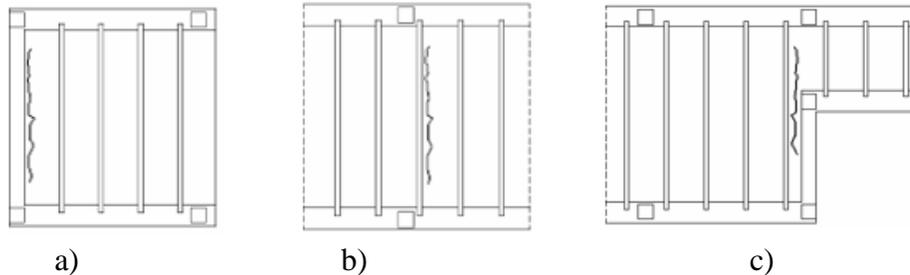


Figura 2.13 Fisuración por deformaciones Diferenciales.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

- a) Proximidad a vigas o zunchos (refuerzo metálico) de borde que soportan cerramientos o medianeras.
 - b) Proximidad a los soportes por diferente grado de empotramiento.
 - c) Zonas de cambio de luces de losas.
- ***Fisuración longitudinal en la junta entre la vigueta o viga y la bovedilla.***

En este caso el punto de unión más débil es el situado en la parte inferior del forjado, justo en la junta entre la vigueta o viga y el lateral de la bovedilla.



Figura 2.14 Fisuración en longitudinal en la junta de la vigueta o viga y la bovedilla

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

En el caso de que la vigueta o la viga, esté muy unida al lateral de la bovedilla a través del hormigón, se puede producir la fisura, no en la junta entre ambas, sino en la propia bovedilla.

Se trata de una lesión de carácter leve, pero requiere un seguimiento de su evolución.

- ***Fisuración en las baldosas (cerámicas) y marcado de las juntas.***

La fisuración también puede producirse en la parte superior de la losa justo en el piso. En principio las fisuras aparecen en las juntas entre baldosas por ser el punto más débil, pero si el mortero de la junta es más resistente que las baldosas que una las fisuras pueden aparecer en las propias baldosas. En ocasiones puede producirse el levantado del piso quedando las baldosas sueltas.

Las fisuras producidas en el piso por deformaciones diferenciales siguen la dirección de las viguetas, mientras que si dichas fisuras siguen la dirección perpendicular a las viguetas pueden ser debidas a deformaciones excesivas de la losa. Se trata de una lesión de carácter leve, pero requiere un seguimiento de su evolución.

2.2.1.1.9 Acumulaciones de cargas sobre la losa.

La transmisión de las cargas a través de la tabiquería o fachadas, ejecutada a tope contra las losas, hace que aquéllas se vayan acumulando hacia las losas inferiores, produciendo lesiones y fisuración en los tabiques y cerramientos que soportan, al aumentar la deformabilidad, como consecuencia de esa acumulación de cargas.

a) Fisuración de tabiques y fachadas en voladizo

Las fisuras pueden generarse tanto en el plano perpendicular al voladizo, como en la propia fachada, formando ángulos de aproximadamente 45°.

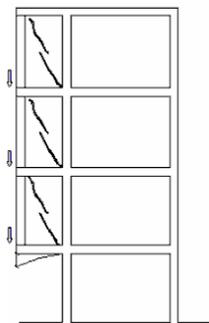


Figura 2.15 Fisuración por acumulación de cargas en voladizos

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

2.2.1.2 Patologías de Origen Higrométrico

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.

2.2.1.2.1 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.

2.2.1.2.2 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.

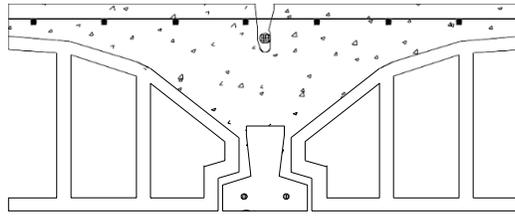


Figura 2.16 Asentamiento plástico en losas

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

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, 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.

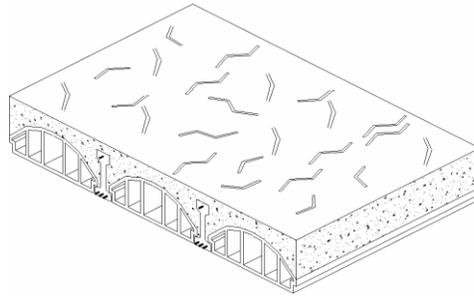
2.2.1.2.3 Retracción Plástica del Hormigón

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.

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.

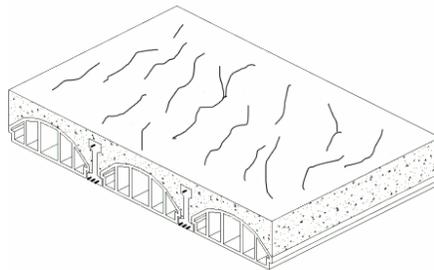


*Figura 2.17 Fisuras aleatorias en Losas
Fuente: Begoña Serrano Lanzarote*

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.



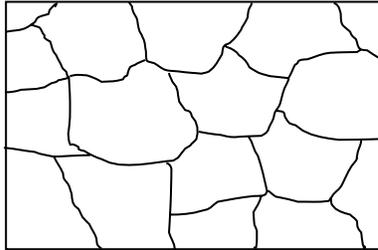
*Figura 2.18 Fisuras paralelas en la cara superior de losas debido a la retracción
plástica del hormigón
Fuente: Begoña Serrano Lanzarote*

2.2.1.2.4 Afogado

El afogado se produce debido a las tensiones superficiales generadas por un alto contenido de humedad en el elemento de hormigón, en épocas de baja humedad relativa y seca. Aparece entre uno y quince días después de verter el hormigón, una vez iniciada la fase de endurecimiento

a) *Fisuración en Mapa.*

El afogado genera un tipo de fisuración en mapa, que afecta a la superficie del elemento de hormigón. Las fisuras forman una especie de red, con lados entre 5 y 10 cm. La profundidad rara vez llega al centímetro y por lo tanto tiene poca trascendencia estructural.



*Figura 2.19 Fisuración en Mapa
Fuente: Begoña Serrano Lanzarote*

2.2.1.2.5 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.

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 2.22. 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.

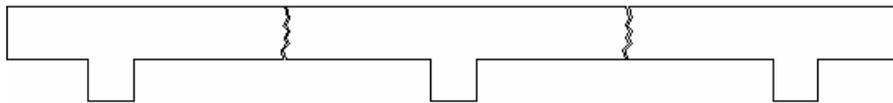


Figura 2.20 Fisuración transversal en losas debido a la retracción hidráulica del hormigón.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

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.

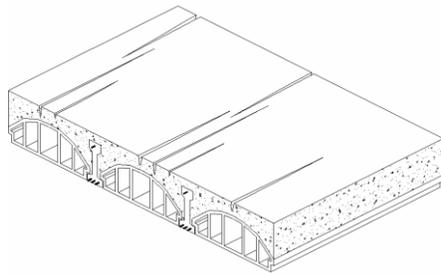


Figura 2.21 Fisuración longitudinal siguiendo la dirección de las vigas debido a la retracción hidráulica del hormigón.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

2.2.1.2.6 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. 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.

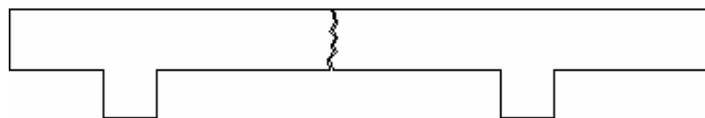


Figura 2.22 Fisuración en losas por variaciones térmicas

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

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.

c) Fisuración vertical

La disposición incorrecta o la ausencia de juntas de dilatación en el cerramiento de fachada para absorber los movimientos térmicos, puede dar lugar a la aparición de fisuras verticales, justo en las esquinas de ventanas y puertas que, en algunos casos, pueden llegar a atravesar toda la fachada.

Este tipo de lesión es de carácter leve.

2.2.1.2.7 Ataque de Ciclos de Hielo-Deshielo

En zonas climáticas con ciclos de hielo-deshielo, el agua que penetra en los poros del hormigón puede congelarse, aumentando su volumen un 9% y creando unas tensiones internas produciendo fracturas en la superficie del hormigón, con pérdidas de material y, en consecuencia, del recubrimiento.

a) Fisuración y desprendimiento del recubrimiento en elementos estructurales al exterior.

Generalmente son lesiones superficiales de carácter leve, desde el punto de vista de la seguridad, pero no respecto a la durabilidad, ya que, al deteriorarse el recubrimiento, las armaduras quedan expuestas a la acción de los agentes agresivos.

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.

2.2.1.3.1 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.

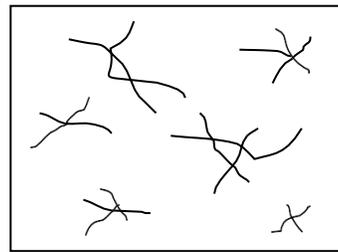


Figura 2.23 Fisuración en estrella por ataque químico árido – álcali.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

2.2.1.3.2 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.

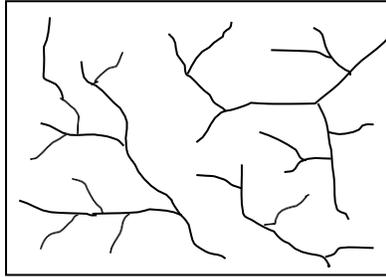


Figura 2.24 Fisuración de distribución aleatoria por ataque químico de sulfatos.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

2.2.1.3.3 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 Patología 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.

2.2.2.1.1 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:

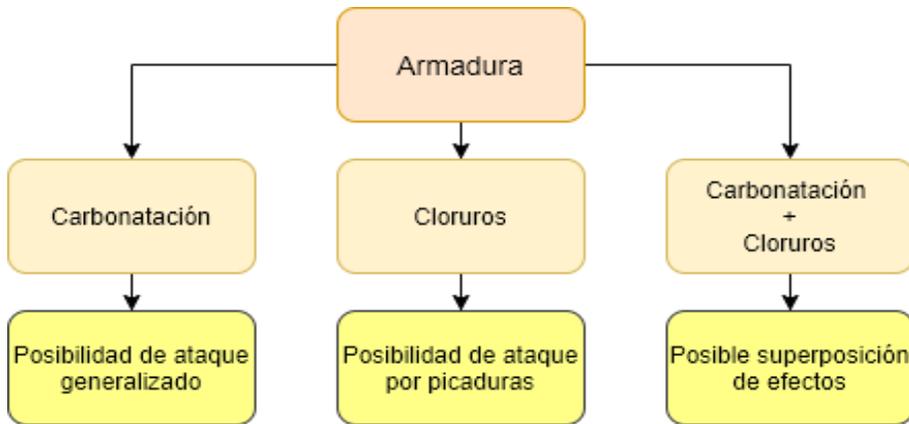


Figura 2.25 Fisuración de distribución aleatoria por ataque químico de sulfatos.

Fuente: Propia

a) 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 CO₂ 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.

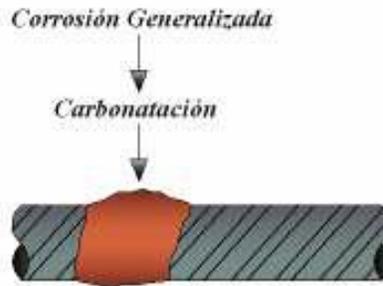
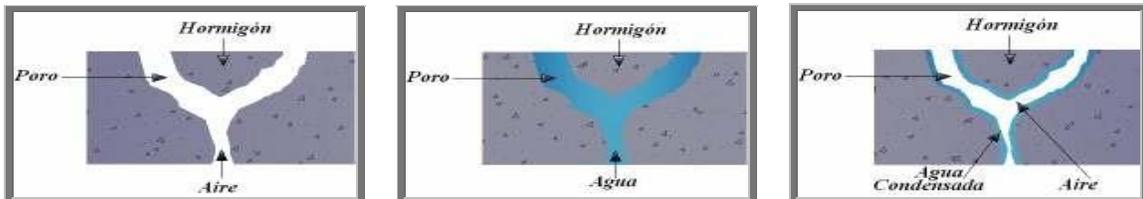


Figura 2.26 Ataque generalizado en la armadura debido a la corrosión por carbonatación.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

Penetración de CO₂ al hormigón dependiendo del estado de los poros:

- Si el poro está seco, el CO₂ se difunde fácilmente, pero la carbonatación no puede ocurrir debido a la falta de agua. Este caso sólo se presenta en concreto que está sobre secado, como ocurre en climas muy secos.
- Si los poros están llenos de agua, hay apenas alguna carbonatación debido a la poca difusión del CO₂ en agua, que es el caso de estructuras sumergidas.
- Si los poros están parcialmente llenos de agua, 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 2.27 Penetración del CO₂ al Hormigón dependiendo del estado de los poros.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

b) 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 ion 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
- Cloruro ligado
- Cloruro total:

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 2.28 Ataque localizado en la armadura debido a la corrosión por cloruros.
Fuente: Begoña Serrano Lanzarote*

c) 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 compactidad 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 diseño de mezcla*

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

La relación agua/cemento está directamente relacionada con la permeabilidad del hormigón, una mayor relación agua/cemento genera un hormigón más permeable y, por lo tanto, posibilita la corrosión.

Por otra parte, la relación agua/cemento necesario, depende de las características que se exijan al hormigón, y debe determinarse mediante ensayos previos. No obstante, con respecto a la protección de las armaduras, frente a la corrosión, debe señalarse que el valor lineal real de la relación agua/cemento no debe exceder del 0,70 si se trata de ambientes interiores, ni del 0,65 en ambientes exteriores no agresivos.

2.2.2.1.2 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 2.29.

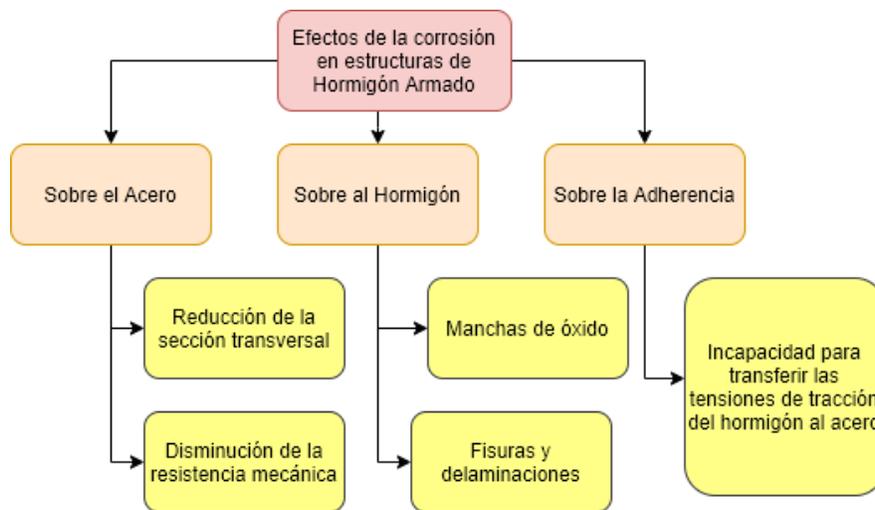


Figura 2.29 Efectos de la corrosión en estructuras de Hormigón Armado.

Fuente: Propia

1. 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 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.

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.

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.

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.

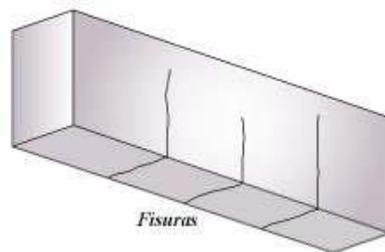


Figura 2.30 Fisuración transversal marcando la posición de los estribos.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

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.

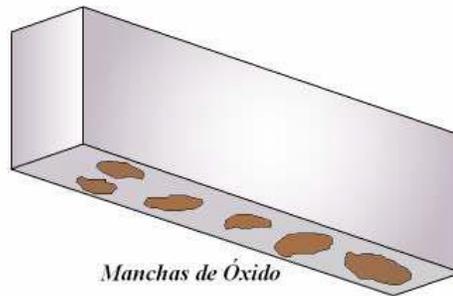


Figura 2.31 Manchas de óxido marcando la posición de las armaduras.

Fuente: Begoña Serrano Lanzarote

2. 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.

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.

3. 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 III

METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

EXISTENTES EN PATOLOGÍA

ESTRUCTURAL

Los principales elementos para una metodología de evaluación de daños son: la clasificación de los daños, la definición de las posibilidades de uso de las edificaciones que sufrieron daños, la organización para la recolección de los datos y el análisis y procesamiento de la información.

Este tipo de evaluaciones difieren de las evaluaciones de vulnerabilidad, en que las inspecciones deben desarrollarse tan rápido como sea posible con el fin de reducir el riesgo y la incomodidad de la persona, por lo tanto, es imposible realizar una evaluación haciendo un levantamiento geométrico completo de la edificación, tomando muestras para análisis de patología y realizar un análisis numérico detallado mediante modelos en el computador. Por lo tanto, las evaluaciones de habitabilidad y de daños deben ser hechas basándose en la inspección visual y el criterio experto.

3.1 METODOLOGÍAS INTERNACIONALES

La recopilación bibliográfica sobre las metodologías existentes a nivel mundial, dentro de las que se destacan Macedonia (antigua Yugoslavia), Estados Unidos, Japón, México, Italia, Turquía, Grecia y la europea que permite analizarlas comparativamente teniendo en cuenta diferentes aspectos como: Sus objetivos y alcances, criterios para la descripción y localización de las edificaciones, criterios para la evaluación y clasificación de los daños, tipos de recomendaciones y medidas de seguridad propuestas, entre otros.

Las metodologías de evaluación en general son relativamente recientes, en casi todos los países han sido sometidas a muchas revisiones debido al incremento de conocimientos con respecto al tema. Los procesos realizados en los diferentes países no han sido independientes, sino por el contrario las experiencias de unos han servido de base para los trabajos posteriores. Los primeros trabajos realizados en Japón y California, fueron la base para los trabajos del ATC-20 en Estados Unidos. Los métodos de Yugoslavia y Japón fueron utilizados en México en la evaluación de daños de 1985 y sirvieron para las versiones posteriores del ATC-20 (1995 y 1998) junto con las observaciones en California.

3.1.1 Método Yugoslavo

El Instituto de Ingeniería Sísmica y Sismología – IZIIZ – de la Universidad “Kiril y Metodij”, desarrolló una metodología en 1984 para la evaluación de daños en edificaciones, la cual fue elaborada inicialmente por Zoran Milutinovik y J. Petrovski y traducida al español y actualizada por Omar Darío Cardona y Angel D. Sorria, algunos de sus objetivos fundamentales son los siguientes:

Disminución del número de víctimas y heridos que viven en edificaciones de baja resistencia o que han sido destruidas parcialmente por las patologías que se han presentado en su vida útil, basándose en las características de la vivienda.

Obtención de datos sobre la magnitud de la catástrofe, que se pudiera presentar en términos de viviendas utilizables, edificios destruidos o con peligro de colapso y edificios utilizables para acomodar la población.

Creación de una base de datos para la predicción de futuras consecuencias en caso de terremotos en zonas sísmicas.

Proveer datos para la planificación y organización de sistemas de protección civil y salvamento.

Mejoramiento de las especificaciones en los códigos de construcción y diseño.

3.1.2 Método del ATC – 20

En el método propuesto por Applied Technology Council (ATC-20), el proceso de evaluación tiene 3 etapas o procedimientos. El primero corresponde a una evaluación rápida en la cual se decide cuáles edificaciones son aparentemente seguras y cuales son obviamente inseguras. El segundo corresponde a la evaluación detallada, en la cual a las edificaciones aparentemente seguras se les hace un examen visual más detallado por un ingeniero estructural.

El método se ha desarrollado en California desde 1978 con algunos procedimientos realizados por la Oficina de Servicios de Emergencia – CES que fueron posteriormente consolidados por Applied Technology Council, bajo el documento “Procedures for

evaluation of buildings” conocido como ATC-20 y publicado en 1989. Posteriormente en 1996, se realizó una segunda versión denominada “Addendum to the ATC-20 Building Evaluation Procedures” y conocida como el ATC-40.

Como resultado de la evaluación detallada se decide si las estructuras son seguras, potencialmente peligrosas o inseguras. Después de esta evaluación, cualquier evaluación más debe ser hecha por un ingeniero estructural con un estudio de vulnerabilidad más cuidadoso y especializado.

3.1.3 Método Japonés

La experiencia de evaluación de daños en el Japón data desde 1978. En esa ocasión se vio la importancia de tener una metodología apropiada para la inspección de edificaciones, y evitar así las pérdidas humanas y económicas.

Un programa de investigación se inició en 1981 llevando a la publicación en 1985 de las “Guías para inspección de daños y técnicas de restauración”. La metodología fue revisada en 1989 y publicada por la Asociación Japonesa para la prevención de desastres en edificios.

La evaluación consiste en dos procedimientos a seguir: Una evaluación inmediata del nivel de riesgo o habitabilidad y una evaluación del nivel de daño estructural y su clasificación. En el primero se define si la estructura dañada o una parte de ella representa peligro para la vida humana, ya sea por vuelco, falla o desplome. En el segundo, los resultados de la inspección se basan en las características de los daños que exhiba el edificio.

El método de evaluación presenta dos etapas: En la primera, se determina el nivel de daño para cada concepto a investigar, en la que a cada uno de los puntos considerados por inspeccionarse se le asocia un nivel de daño (A, B o C). En la segunda, se obtiene el nivel de riesgo de inestabilidad estructural basado en los niveles de daño. El resultado de la evaluación permite emitir un dictamen sobre la necesidad de rehabilitación de la estructura (reparación, reforzamiento o demolición) el cual es sugerido al propietario.

Las evaluaciones son desarrolladas sólo para edificios con 2 ó 3 pisos y más de un propietario. Los edificios al ser evaluados son seleccionados mediante una inspección general.

3.1.4 Método Mexicano

Mario Rodríguez y Enrique Castrillón desarrollaron en el Instituto Nacional de Ingeniería UNAM de México el “Manual de Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificaciones”, basado en investigaciones Realizadas para el Departamento del Distrito Federal y publicado por el Instituto de Ingeniería como documento No. 569 en septiembre de 1995. Posteriormente, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica y la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal publicaron una versión corregida bajo el mismo nombre “Manual de Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificaciones” en 1998.

Al igual que el proceso propuesto por el ATC – 20, en este método se proponen 3 niveles de evaluación: Una evaluación rápida, una detallada, y una evaluación especializada que debe ser hecha por una oficina de ingeniería. A diferencia del ATC – 20, en el cual se proponen unos aspectos a evaluar, en este método se proponen niveles de daño dependiendo del sistema estructural de la edificación; en esto se asemeja al método japonés.

El objetivo principal de la primera fase de evaluación es dictaminar si las edificaciones pueden mantener su uso o si el ingreso a ellas debe ser restringido o prohibido.

3.1.5 Método Italiano

En Italia el propósito principal de la evaluación realizada en 1976 fue la evaluación de daños para las edificaciones más antiguas. Después del terremoto de Irpinia en 1980 la necesidad de contar con procedimientos para la evaluación de la habitabilidad fue evidente, sin embargo, después del evento no se hizo ningún esfuerzo con relación a desarrollar una metodología apropiada y los procedimientos y formatos variaron de un

lugar a otro. Algunas propuestas académicas fueron publicadas por esos días (Gorett, A. 2001).

Un programa de investigación dirigido a introducir los primeros niveles de habitabilidad y de inspección de daños empezaron en 1995, la versión final, con el manual fue publicada en el 2000.

Las inspecciones de edificios son realizadas por solicitudes de los ciudadanos al alcalde de la ciudad quien la remite al Centro de Coordinación de Evaluación de Daños, normalmente localizado en la zona de mayor riesgo. Las evaluaciones de las edificaciones son recopiladas de este centro. Si se sugiere evaluadores el alcalde promulga decretos de evacuación o de uso limitado. Las medidas de control o mitigación sugeridas por los evaluadores, cuando son incorporadas en los decretos se convierten en obligatorias. No se usa el sistema de avisos pegados en las edificaciones.

3.1.6 Método del ACI 364.1 R - 94. (Reaprobada en 1999).

Los diferentes comités del ACI en los últimos años se han interesado por la elaboración de informes con respecto a la evaluación de daños y también hacia los procesos de rehabilitación, lo cual junto con las publicaciones oficiales que realiza el ACI cada tres años, forman un completo estudio en esta área de la ingeniería civil.

Uno de los documentos estudiados y con mayor aporte es el divulgado por el comité 364 del ACI, ya que este informe presenta las pautas y los procedimientos generales que pueden ser utilizados para la evaluación de estructuras en Concreto Reforzado antes de la rehabilitación. Los temas que cubren son: investigación preliminar; documentación detallada de las investigaciones; inspección del campo y encuesta sobre la condición; muestreo y material evaluación de prueba; e informe final.

Lo más destacado del informe es lo que tiene que ver con las actividades preliminares, ya que destacan paso a paso el procedimiento a seguir y los requisitos necesarios para hacer dicho estudio. También se destacan la amplia gama de pruebas a los materiales, dependiendo de las características de la construcción a estudiar. La evaluación sísmica se considera más allá del alcance de este informe.

3.1.7 Método Europeo EN 309020

Los trabajos del proyecto europeo EN 309020 denominado CONTECVET como validación del Manual BRITE 4062, orientado a evaluar la vida de servicio residual de las estructuras de hormigón armado. Fue creado en participación de diversas entidades británicas, suecas y españolas, centros de investigación, empresas, universidades y administraciones.

El grupo español estuvo formado por IETCC, GEOCISA, Iberdrola, Enresa y la Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la Generalitat Valenciana. (1998-2000.)

El manual recoge un procedimiento de evaluación de estructuras afectadas por la corrosión de sus armaduras que ha sido validada en diversos casos reales estudiados tanto en España como en otros países de la Unión Europea.

La experimentación en la que están basadas es similar a los demás métodos antes mencionados donde también se considera una evaluación Rápida o simplificada y una evaluación detallada, todos los datos necesarios para su elaboración se desarrollaron durante el proyecto europeo Brite- Euram-4062- “Título” cuyo resultado final fue la creación de este manual.

Este método toma en cuenta dos parámetros: la agresividad ambiental a la que está sometida el elemento de Hormigón Armado y los daños actuales que presenta el elemento estructural. El primer aspecto representa los daños actuales de la estructura y el segundo parámetro es representativo de la sensibilidad del elemento estructural a la corrosión.

3.2 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE DAÑOS DESARROLLADAS A NIVEL NACIONAL

El año 2006 el Msc. Ing. Rolando Javier Grandi Gómez procedió a elaborar la primera Norma de Diseño Sísmico por encargo del ministerio de obras Públicas, Servicios y Vivienda, dicha norma no era de uso obligatorio, pero fue el principio para considerar el diseño Sísmico en Bolivia. En 2015 se publicó el Manual de Diseño Sísmico MDS-2015, que también fue de mucha ayuda en el tema de diseño sísmico.

Tomando en cuenta la información internacional de las amenazas sísmicas en Bolivia, en 2018 se procedía a elaborar la Guía Boliviana de Diseño Sísmico GBDS-2018 con el respaldo del colegio de Ingenieros Civiles.

En 2018 se decidió mejorar, ampliar la Guía Sísmica de 2018, donde se decide formar un Comité Técnico a través del Ministerio de Obras Públicas Servicio y Vivienda, conformado por delegados de los Colegios de Ingenieros Civiles y delegados de Universidades Públicas y Privadas. En el año 2019 se procedió a trabajar en el mejoramiento de la Guía llevando un trabajo de 16 meses para poder concluirlo.

En septiembre de 2020 se presentó de manera oficial la nueva Guía Boliviana de Diseño Sísmico (GBDS-2020), documento técnico de alto nivel que permitan preparar a las estructuras resistan sismos acordes a la amenaza sísmica del país.

Dicha guía está adecuada al diseño de Hormigón utilizando la Norma Boliviana NB 1225001, (basada en la ACI-318) que permite la mejor calidad de las estructuras en Bolivia.

En el capítulo 12 de la guía Boliviana de Diseño Sísmico se encuentra el Estudio de Vulnerabilidad y refuerzo sísmico, donde se pretende orientar una forma de evaluar la vulnerabilidad ante una acción sísmica. Esta recopilación está basada en la ACI 364.1R 2007 y la ACI 369, 2011, donde se habla de una investigación preliminar y una detallada.

La investigación preliminar consta de la recolección de información acerca de la construcción, mientras que la detallada se complementa a estudio más detallados como

ser la realización de ensayos, donde especifica el nivel de estudio detallado un nivel mínimo, regular y exhaustivo.

En el Tema de la Evaluación nos indica que se deberán hallar solicitaciones dispuestas en la guía como también deben satisfacer los requisitos de equilibrio, compatibilidad de las deformaciones, deterioro de los materiales, deformaciones, etc. Cómo también se debe tomar en cuenta los efectos de segundo orden.

En octubre de 2020 se presenció la primera Conferencia de la guía Bolivia de Diseño Sísmico y su aplicación en la ciudad de Oruro, por medio del observatorio San Calixto, donde se profundizó la explicación de la guía, además se pudo ver al M. Sc. Ing. Álvaro Quisberth Huayllani en la explosión del capítulo 12, donde se profundizo el tema.

3.3 CONCLUSIONES SOBRE LAS METODOLOGÍAS EN PATOLOGÍA AVANZADAS

Se considera, después de una lectura rigurosa de todos los documentos, que las metodologías más completas son la de Yugoslavia (hoy Macedonia), el ATC-20 de los Estados Unidos, la de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, la del Ministerio de la Construcción del Japón, el Servicio Sísmico Nacional de Italia, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (europeo EN 309020). Por esta razón se realiza un análisis más detallado de todo el proceso de evaluación y calificación sólo para estos métodos. Aunque los métodos de Turquía y Grecia se consideran bastante robustos, fueron analizados en menor detalle debido a que la mayoría de la bibliografía encontrada está en el idioma original (turco o griego).

El método Yugoslavo es el más completo en la descripción de la edificación, evalúa todas las categorías (dirección, identificación del sector de la ciudad donde está localizada la edificación, posición de la edificación en la manzana, información del propietario, clasificación del uso de la edificación, tipo de estructura, tipo de cubierta, calidad de la construcción, número de niveles o pisos, número de apartamentos, información sobre el suelo o configuración del terreno, configuración en planta o en altura, período de construcción, reparaciones por sismos anteriores, área de la

edificación y esquema o fotografía), este aspecto es favorable en el sentido que proporciona muy buena información sobre los tipos de edificación afectados, lo cual puede ser usado para fines de calibración de metodologías de vulnerabilidad. La calificación del daño está basada en las definiciones de **ligero, moderado, fuerte y severo**, que como se mencionó anteriormente pueden ser bastante subjetivas de acuerdo a la interpretación y experiencia de los evaluadores.

La Metodología del ATC – 20 al igual que en el Método Yugoslavo, se presta para interpretaciones del evaluador en la calificación del grado de severidad. Llama la atención el hecho de que esta metodología sea una de las pocas que no considera una descripción de la configuración del terreno, la poca relevancia que se le da a este tema podría explicarse por la topografía tan plana que caracteriza a California, sitio donde fue formulada y aplicada la metodología.

El método Japonés es uno de los más completos y detallados en la descripción de la edificación y la evaluación de los daños, tiene varios niveles de evaluación y está basada principalmente en criterios cuantitativos, se miden los asentamientos, los grados de inclinación, el número de elementos afectados con relación al total de elementos existentes, el grado de severidad del daño está basado en criterios cuantificables y descripciones sobre el tamaño de las fisuras lo que hace que este método se considera uno de los menos subjetivos, aunque del otro lado podría considerarse como uno de los más complejos y dispendiosos.

El método mexicano también se considera bastante completo en la evaluación de daños, pareciéndose más en lo cuantificable de los criterios y las descripciones sobre asentamientos, inclinación, número de elementos afectados, tamaño de fisuras a la metodología japonesa. Podría considerarse también como un método que no se presta a la subjetividad en la evaluación. Se destaca por ser un método rápido que abarca el análisis de varias estructuras a la vez.

En el informe del ACI 364.1 R-94, en términos generales se realiza un proceso organizado, claro y definido de los pasos necesarios en una evaluación de daños, pero a la vez, por basarse en los informes realizados por ellos mismos años anteriores,

algunas de las pruebas y procedimientos no se pueden aplicar en Bolivia, ya que las condiciones geográficas de California son diferentes a las de nuestro país, siendo el inconveniente más notorio la falta de una evaluación sísmica con lo cual se pueda hacer una evaluación más específica y menos general de los procesos a seguir.

El método europeo EN 309020 denominado CONTECVET, se considera un método muy completo debido a que este método se realiza de forma ordenado especificando los pasos a seguir para la realización de una evaluación de Daños. Lo que le distingue de los demás es que este método toma en cuenta el análisis tanto en el hormigón como en la armadura, tomando en cuenta un factor muy importante que es la corrosión de las armaduras, para realizar la evaluación de una estructura a través de un índice estructural, el cual nos indica el grado de daño. La calificación de daños está basada en definiciones de Despreciable, medio, severo y muy severo. Dando así pautas para la realización de una evaluación detallada y proponer un diagnóstico.

CAPÍTULO IV

PROBLEMAS MÁS COMUNES EN LA

EVALUACIÓN DE DAÑOS

Con base en la revisión de las experiencias internacionales y nacionales, se puede observar que se han presentado problemas en los procesos de evaluación de estructuras que son similares en los diferentes países, y que han causado pérdidas económicas por no tener establecido una metodología ordenada y completa, que conlleva muchas veces a hacer afirmaciones erróneas. Los problemas más relevantes en términos generales son los siguientes:

4.1 FALTA DE ENTRENAMIENTO Y CALIFICACIÓN DE LOS EVALUADORES

Es fundamental que se realice una divulgación y capacitación previa de los profesionales que van a participar en el proceso de evaluación de daños, así como la selección de un grupo más especializado para la toma de decisiones más difíciles. Otra recomendación importante es la conformación de equipos de evaluación de dos personas para la evaluación rápida (dos inspectores de obra o un inspector y un ingeniero) y de tres personas (un inspector de obra, un arquitecto y un ingeniero estructural) para la detallada, según las recomendaciones del ATC-20-2.

Por todos estos aspectos, se requiere buscar las personas más idóneas en el tema, para que, en base a su experiencia personal, puedan lanzar con autoridad juicios, o propongan posibles soluciones en el momento de hacer una evaluación de daños.

4.2 SUBJETIVIDAD EN LAS EVALUACIONES

Los niveles de daño son definidos en la mayoría de los métodos de evaluación con calificaciones lingüísticas como leve, menor, moderado, severo, grave o fuerte; 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. Lo que para una persona es moderado para otra puede ser severo, así como puede estar en medio de los dos conceptos para otra, por esto es necesario intentar unificar el sentido de estos conceptos y volver la evaluación lo más cuantitativa posible determinando porcentaje de elementos afectados, tamaño y tipo de grietas, etc. Pero mientras esto ocurre, se requiere de un

proceso de transformación que sirva como “puente”, entre las dos valoraciones, para así empezar a clarificar criterios, y en futuro todos los ingenieros se rijan bajo una misma forma de calificación mundialmente establecida.

4.3 FALTA DE UN PLAN DE CONTINGENCIA ABSOLUTO

Es importante realizar un recorrido relámpago por la ciudad antes de empezar los procesos de evaluación rápida, con el propósito de generar información preliminar sobre la extensión del daño, la extensión de las áreas de mayor intensidad de daños, identificar las edificaciones obviamente inseguras para iniciar los procedimientos de emergencia, determinar la necesidad de la declaración de desastre y solicitud de ayuda externa. Estos recorridos pueden ser realizados por bomberos, policías y personal de las entidades de socorro.

La falta de un conocimiento sobre los procedimientos legales, la definición de los procesos de toma de decisiones sobre evacuación, demolición o retiro de objetos de las edificaciones irregulares, genera que se evacuen o demuelan edificaciones sin necesidad, se pierdan vidas innecesariamente, se incurra en errores que pueden tener grandes implicaciones legales, etc.

Por todo esto, se requiere que los estamentos del gobierno encargados de estos temas, tomen conciencia de este aspecto, y realicen planes de contingencia con una planificación adecuada, que mitiguen en cierta medida los daños que se pueden presentar, a través de la elaboración de unas metodologías claras y adecuadas que puedan aplicar a cualquier edificación.

4.4 FALTA DE PLANIFICACIÓN DE LAS VISITAS

Las visitas a las edificaciones por falta de planificación, en ocasiones no cubren el 100% de las viviendas cuando se hacen estudios en barrios o sectores, sino que se programan, de acuerdo a las solicitudes que la población que hace mediante llamada telefónica o personalmente. Esto denota negligencia por parte de las personas encargadas de hacer estas inspecciones, para llevar a cabo valoraciones completas, y a la vez se pone en tela de juicio la ética de los profesionales a la cabeza de dichas

evaluaciones. Esto genera la necesidad de enviar comisiones muchas veces al mismo sector, trayendo por ello un sobrecosto inoficioso en gastos.

4.5 MANEJO INADECUADO DE LOS OCUPANTES DE LAS EDIFICACIONES

La experiencia del evaluador y la forma como se maneje la información sobre el estado de la edificación y como se les comunique a los propietarios hará que las recomendaciones sean acatadas o no, o se soliciten nuevas evaluaciones por parte de otros profesionales, por ello se hace énfasis nuevamente en la responsabilidad y compromiso que tienen los inspectores frente a las personas propietarias del inmueble.

El manejo y trato con personas dueñas de las edificaciones es muy complejo, por dos aspectos: Primero que muchas personas, no reportan a tiempo daños que se estén presentando a simple vista, como por ejemplo las fisuraciones, que es una Patología que tratada a tiempo no representa ningún riesgo de gran consideración, pero si se deja avanzar puede traer consigo graves problemas estructurales, en su lugar ellos mismos hacen correcciones a este problema, muchas veces sin el uso del método y los materiales apropiados. Y lastimosamente cuando se reportan dichas anomalías, resulta mucho más costoso su reparación debido a la tardanza en su aviso a las personas calificadas.

En segunda instancia, hay que tener cuidado en el momento de hacer las valoraciones y calificaciones de las estructuras respectivas por parte de los ingenieros a cargo, debido a que, si la gravedad de los daños lo indican, hay ocasiones, en que hay que desalojar la edificación porque la estructura está en peligro de sufrir un colapso en cualquier momento. Es en este punto, donde hay que tener cabeza fría, para informarles esta noticia a los propietarios del inmueble, debido a que las personas por su situación social, no tienen los recursos para la compra de otra edificación, y por ello, se resistirán a abandonar el lugar, arriesgando su vida, a cambio de un techo donde dormir.

CAPÍTULO V

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

Para el planteamiento de una metodología en la evaluación de daños, se realiza una investigación de las normas, códigos, libros, revistas, publicaciones y metodologías vistas anteriormente.

La estructura general de la metodología a plantear se basa en términos de:

- Los informes del American Concrete Institute - ACI - publicados en los últimos años (ACI 364.1 R-94. Reaprobada en 1999), y del Código ACI 318 – 02; que establecen las divisiones generales (Investigación Preliminar e Investigación Detallada) y algunos aspectos menores.
- Las metodologías de evaluación de daños a nivel internacional y nacional para estructuras en concreto existentes en Bolivia; se obtienen formatos de evaluación, cuadros adicionales con criterios para la clasificación de estructuras y formas de calificación de una edificación.
- Los diferentes documentos y artículos que ingenieros han publicado alrededor del mundo; se encuentran las fotos para ilustrar las pruebas que se les hacen a los materiales, los equipos usados para hacer dichas pruebas “in situ” o en el laboratorio y los materiales usados en todos estos procesos.

Es imprescindible realizar, 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.

En esta propuesta se tomará en cuenta el Método europeo EN 309020 y el método mexicano ya que estos métodos son muy completos y se complementan en sí, el método europeo EN 309020 indica una metodología de evaluación estructural de elementos afectados tanto en el Hormigón como en la Armadura, mientras que el método mexicano se basa en un análisis Post sísmico.

Muchos autores de métodos de evolución como ser Carles Broto, Calavera, Juan Monjo. Paolo Helene, Enio Pazini, etc. Hablan de diferentes metodologías para elaborar un diagnóstico, pero todos en si contemplan un punto en común que es la fase

de Inspección preliminar, donde se considera la obtención de datos previos, reconocimiento visual y realización de Pruebas y ensayos.

La inspección preliminar en un edificio tal como indica la ACI 364.1 R-94, 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 reafirmar las condiciones y propiedades de los materiales, además, de identificar las posibles causas del deterioro. 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. Tal como Indica el método europeo EN 309020.

Otra metodología utilizada para evaluar la seguridad estructural del edificio, es la *Evaluación Post Sísmica*, método mexicano (Manual de Evaluación Post sísmica de la seguridad estructural de las edificaciones), que contiene criterios y procedimientos para dictaminar si este 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.

5.1 INSPECCIÓN VISUAL Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS A ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

La inspección preliminar en un edificio y/o elemento, se realiza mediante la inspección visual para verificar, identificar y localizar los posibles problemas que se presentan en la estructura principal o secundaria, para así tener una primera aproximación del estado actual de la estructura o del edificio.

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:

- 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.
- Si existen fallas o lesiones que aparentemente no requieran un refuerzo o apuntalamiento inmediato de la estructura, pero se recomienda una evaluación estructural.
- Si no existen fallos o lesiones aparentes o no es necesaria actuación inmediata, por lo que es innecesaria una evaluación estructural.

La Figura 5.1, muestra en detalle el proceso de Inspección Visual y Realización de Ensayos.

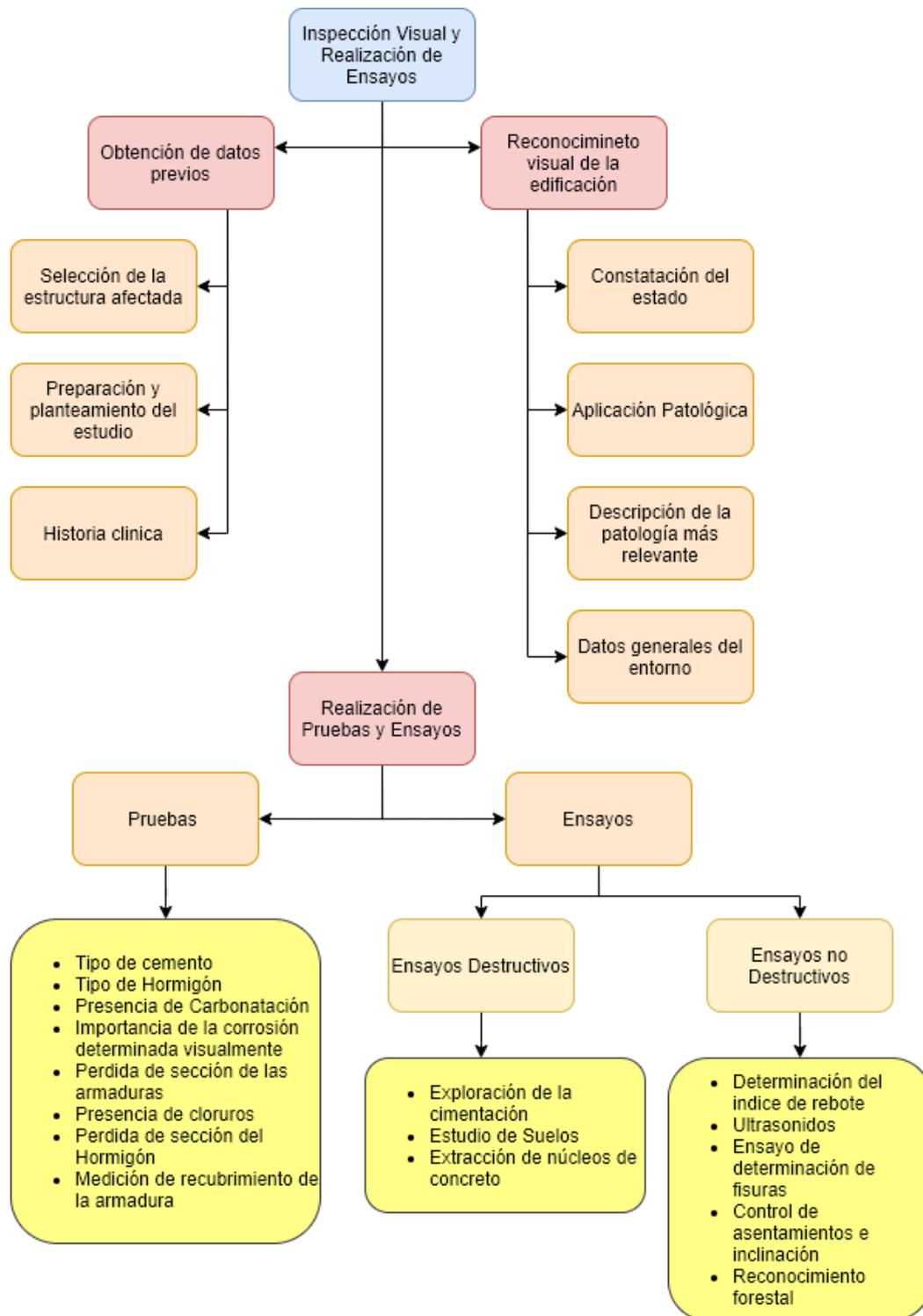


Figura 5.1 Proceso de Inspección Visual y Realización de Ensayos

Fuente: Propia

5.1.1 OBTENCIÓN DE DATOS PREVIOS

5.1.1.1 Selección de la estructura afectada.

La selección de la estructura afectada se debe realizar mediante visitas de viviendas o barrios o sectores de mayor intensidad de daños, para así identificar una que presente diferentes patologías, que afecten el funcionamiento de la misma. Todo esto para salvaguardar a los habitantes de la edificación y prevenir daños mayores.

5.1.1.2 Preparación y planteamiento del estudio.

Una vez conocido el paciente se debe planificar las visitas para constatar así las problemáticas de la edificación como son las lesiones mecánicas que se pudieran evidenciar en los elementos que componen la estructura.

Se necesita realizar una investigación minuciosa para encontrar la información existente de la edificación, como son memorias de cálculos, planos Asbuilt arquitectónicos, planos Asbuilt estructurales, planos de instalaciones, licencia de construcción, estudio de suelos, reformas en la edificación, libro de órdenes, etc. Tal como indica el capítulo 12.4 de la guía Boliviana de Diseño Sísmico. Para así y tener una noción de cómo fue concebida la estructura y así poder generar hipótesis de las posibles causas que le están generando la problemática, así como también realizar diferentes indagaciones a los trabajadores más antiguos de la edificación que puedan brindar información valiosa para realizar la investigación, una vez se tenga ésta información se procederá a plantear un levantamiento de cada miembro afectado, para lo cual se utilizarán unas fichas en donde se consignará todas las características de la edificación y los elementos que la componen. ver Anexo C, además una serie de ensayos tanto destructivos como no destructivos que ayudarán a dar una idea clara acerca del estado actual de los materiales que constituyen los elementos de la edificación, todo esto con el permiso de los propietarios y la administración del edificio.

Para estos ensayos se buscará asesoría con laboratorios especializados en este tipo de estudios, los cuales cuentan con la tecnología de punta para realizar esta labor.

5.1.1.3 Historia Clínica.

- a) Responsables del estudio**
- b) Fecha de realización del estudio**
- c) Autorización del estudio**
- d) Datos generales del paciente.**

Los datos deben Incluir:

- Nombre de la Edificación.
 - Localización
 - Uso
 - Fecha de Construcción
 - Sistema constructivo
 - Técnica constructiva
 - Uso actual y previsto
 - Sistema estructural
 - Normativa actual que la rige.
- e) Tipo de cimentación,**
 - f) Altura de la edificación**
 - g) Área de la edificación,**
 - h) Número de pisos,**
 - i) Estado general de conservación**
 - j) Fidelidad de los planos**

5.1.2 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
- Croquis de la edificación.
- Cámara fotográfica, cinta métrica, linterna, escalera o andamio.

Generalidades

El objetivo del reconocimiento visual es detectar, identificar y calificar las lesiones, ya sean elementos estructurales o aquellos que pueden indicar peligro en la estructura, además de identificarse los daños observados por inspección visual, también se realizarán pruebas y ensayos.

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.

5.1.2.1 Designación de partes del edificio.

En una sección esquemática han de numerarse los niveles, a partir del nivel 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.

5.1.2.2 Constatación del estado.

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 patologías se deben representar mediante la utilización de fichas donde indiquen las posibles causas y sus posibles soluciones tal como se indica en el Anexo C.

5.1.2.3 Cimentación

Se deberán revisar los elementos encontrando donde deberán estar la descripción detallada de las labores efectuadas en el campo y laboratorio, se presentan y se discuten los valores obtenidos para ver la estabilidad geométrica de la obra en los aspectos relativos de la cimentación y el sub suelo.

En el reconocimiento visual se debe tomar en cuenta los siguientes factores de los puntos de sondeos.

- Altura sobre el nivel del mar
- Formas del perfil
- Morfología
- Morfologías pendientes

En el reconociendo visual se debe tomar en cuenta los parámetros geotécnicos y de geología Regional, tomando en cuenta las unidades litológicas de la zona de estudio, también la geología Local, tomando en cuenta el cuerpo litológico que aflora en el área de interés para el proyecto. Además, se incluirán fotografías de los elementos observados.

5.1.2.4 Aplicación Patológica.

Mediante el reconocimiento visual se debe ver las características de la construcción y las lesiones presentadas en la edificación para poder identificar en qué áreas de las patologías se encuentra, ya sea a una genérica curativa a otra genérica dañina.

5.1.2.5 Descripción de la Patología más relevante.

El objeto es de realizar el reconocimiento visual de la estructura estudiada e identificar las patologías más relevantes que se presentan en la edificación, las cuales serán las más estudiadas en el transcurso de la investigación. Además, se incluirán fotos de los elementos a estudiar.

5.1.2.6 Datos Generales del entorno.

Objetivo

Detectar e identificar y calificar los elementos generales que se pueden encontrar en el entorno de la estructura.

Material

- Papel para tomar notas y plano del sector.
- Cámara fotográfica, cinta métrica, linterna, escalera o andamio, equipos topográficos.

Generalidades

El objetivo de la recolección de datos generales del entorno es detectar, identificar y calificar los elementos generales que se encuentra a los predios de la estructura, ya sean construcciones vecinas, medio ambiente, sismicidad del sector, topografía, nivel freático y el sistema de coberturas vegetales.

El contenido debe ser descriptivo de todos los elementos que se puede encontrar ya sea información proporcionada o en qué caso no exista información es necesario generarla a lo largo del estudio.

La descripción escrita debe incluir:

a) Edificaciones y Obras Vecinas.

Se debe detectar todas las edificaciones vecinas en el sector especificando sistema estructural, altura y su antigüedad de los mismos. Verificando las condiciones que se encuentran cada una de ellas, como también las condiciones de los espacios públicos como vías, aceras y el mobiliario urbano. Además, se incluirán fotografías de los elementos observados.

b) Medio Ambiente.

Especificar el entorno, tomando en cuenta los elementos ecológicos que enriquecen el medio ambiente, como ser el humedal, parques cercanos, lagunas, ríos y plazuelas. Especificar si existiera contaminación del aire, contaminación de lagos o ríos cercanos. Otro punto a tratar es la temperatura, humedad relativa promedio, precipitaciones y la velocidad del viento. Se deberán adjuntar información fotográfica del sector estudiado.

c) Movimiento de Masa

De acuerdo a la información suministrada, establecer si el sector se encuentra en zona de amenaza de inundación o remoción de agua, especificando su geología (terrazza alta, terraza baja), describiendo su geología que presenta el sector y especificando su capacidad portante.

d) Sismicidad

De acuerdo con la información recolectada de planos de respuesta sísmica del lugar, en base a la micro localización sísmica del lugar establecer las aceleraciones esperadas y espectro de zona, por ejemplo, en la ciudad de Tarija una aceleración de 0.08 (Ao/g) siendo un tipo de espectro Tipo 4, mientras que en la ciudad de Yacuiba el valor de aceleración es de 0.1 (Ao/g) correspondiente a un tipo de espectro 6. Se debe adjuntar la información científica utilizada tomando como base la Guía Bolivia de Diseño sísmico.

e) Topografía

Se debe especificar el tipo de topografía del lugar ya sea con datos proporcionados o si en caso no existiera realizando un levantamiento topográfico del lugar. También

se deben tomar en cuenta la extensión donde se hará la investigación, población cerca del sector y tomando en cuenta el área promedio de zonas verdes o parques. Se deberá adjuntar imágenes fotografías del sector estudiado.

f) Nivel Freático y escorrentías

Una vez realizada la exploración de la cimentación del predio. Ver capítulo 5.1.3 exploración de la cimentación. Evidenciar el nivel freático y su profundidad de los mismos.

Verificar el comportamiento del agua a través del subsuelo si presenta abatimientos y sus zonas de influencia, presencia de succión capilar desde la superficie.

g) Sistemas de Coberturas Vegetales

De acuerdo a un inventario forestal realizado por un Ingeniero Forestal, determinar los tipos de individuos arbóreos especificando si requieren Manejo de silvicultura para ver si tienen afectaciones al predio.

Realizar mediciones de distancia de la especie Arbórea hacia la estructura especificando el tipo de árbol, ubicación, altura del árbol y diámetros de raíces superficiales. Además, se incluirán fotografías donde especifiquen la ubicación, distancia a la edificación y tipo de árbol. A su vez también una representación de la localización de especies arbóreas.

5.1.3 REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ENSAYOS

Objetivo

Realizar inspecciones, mediciones y extracción de muestras de hormigón si el caso lo requiere de los elementos seleccionados, tanto in situ como en laboratorio.

Material

- Cincel, martillo, taladro, escalera o andamio, cámara fotográfica, instrumentos de medición (flexo, regla para medir fisuras), linterna, material para limpieza de superficies (brocha), instrumentos de laboratorio.

Generalidades

Además de identificarse los daños observados por inspección visual, según el apartado anterior, se debe estimar el deterioro de los materiales que componen, realizando ensayos "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.
- Estimar el espesor de las fisuras.
- Verificación el estado de las fisuras mediante la colocación de testigos.
- Conocer el tipo de suelo donde se fundó.
- Ver el estado de la cimentación.
- Medir asentamientos diferenciales e inclinaciones de la edificación.
- 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 expuestos al exterior.

Para verificar el estado de una muestra, ha de realizarse una fotografía que contenga la identificación de la misma.

Pruebas y Ensayos.

Los ensayos y pruebas se refieren a los diferentes aspectos o parámetros del elemento estructural y sus materiales componentes, y serán realizados en situ o en muestras previamente extraídas.

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:

5.1.3.1 Pruebas

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 ver 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.

La presencia de cemento aluminoso en la composición, supone un riesgo adicional ya demostrado, ya que 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) Tipos 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

similar, los hormigones pretensados han tenido un mejor comportamiento y han protegido mejor a la armadura, debido a su mejor calidad del hormigón.

Aspectos cualitativos de hormigón:

a) **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 supone un hormigón de buena calidad. Por el contrario, la presencia de áridos intactos dejando es indicativo de una baja calidad del hormigón del hormigón.

El resultado será clasificar la calidad como buena o mala.

b) **Color del Hormigón**

El color superficial puede indicar la uniformidad o no del conjunto de las armaduras y ayudar para verificar datos con los resultados del ensayo tipo de cemento, distinguiendo entre gris claro u oscuro o marrones y ocres. 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.

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

c) **Presencia de Carbonatación.**

La carbonatación del hormigón puede inducir a la corrosión de la armadura. Dada la importancia de este factor de deterioro es imprescindible determinar la profundidad

del frente carbonatado, aun cuando sobrepase la armadura, para poder estimar cuánto tiempo ha estado el acero despasivado.

La realización de la prueba se efectuará, según el procedimiento de solución de fenoltaleína 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, todo esto para lo que habrá que profundizarse en el hormigón hasta encontrar el hormigón que no esté carbonatado.

d) Importancia de la corrosión determinada visualmente

La importancia de la corrosión que presenta la armadura, es una apreciación fiable.

Una manera de medirla para obtener resultados operativos se indica a continuación.

- Nivel de Daño despreciable
- o existe óxido visible. Las armaduras tienen una superficie lisa y brillante.

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



Figura 5.2 Corrosión de la armadura: Nivel de daño despreciable.

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

- 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 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 5.3 Corrosión de la armadura: Nivel de daño bajo

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

- 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 5.4 Corrosión de la armadura: Nivel de daño moderado

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

- 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 5.5 Corrosión de la armadura: Nivel de daño alto

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

e) **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:

- En general no se conoce la sección real inicial de la barra, sólo se puede suponer la nominal.
- La medida en obra realizada con un calibre de precisión, 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. La Figura 5.7 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.

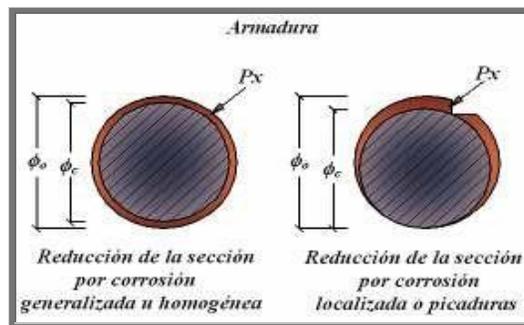


Figura 5.6 Pérdida de sección de la armadura.

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

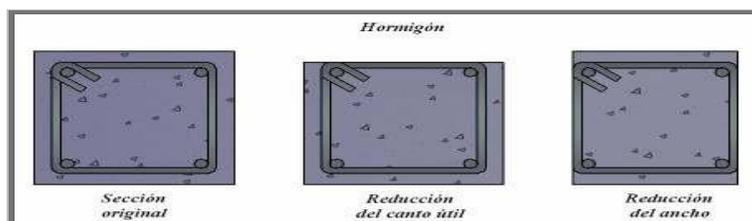
f) Presencia de cloruros

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 factor muy importante de deterioro que da lugar a un tipo especial de corrosión.

g) 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 5.7.



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

Figura 5.7 Pérdida de la sección de hormigón.

h) 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.

5.1.3.2 Ensayos destructivos

a) Exploración de la cimentación.

El ensayo se debe realizar según normativa específica. La normativa Boliviana de Diseño Estructural nos indica que se debe contar con un estudio geotécnico o hidrogeológico según corresponda donde se proceda a tener datos de importancia según metodologías utilizadas.

Una vez realizada el estudio Geotécnico se procede a verificar el estado de conservación de los elementos para evidenciar si no existen daños estructurales como ser grietas o fisuras, también se debe tomar en cuenta si pudo haber asentamientos con respecto a otros sondeos. Además, se debe adjuntar fotografías del sector estudiado detallando el punto, el número de sondeo y la profundidad.

b) Estudio de Suelos.

Una vez obtenido los valores encontrados en el apartado anterior. Exploración de la cimentación se procede a realizar los ensayos de laboratorio para identificar el tipo de suelo, estratos, capacidad Admisible de todos los sondeos realizados.

Los cuales se deben representar mediante tablas descriptivas de las características de los posos y el perfil litológico de cada uno.

c) Extracción de Núcleos de Concreto

Básicamente, consiste en la extracción de testigos de la 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.

5.1.3.3 Ensayos no destructivos

a) Determinación del Índice de Rebote.

La ventaja de este ensayo no destructivo radica en la relativa simplicidad, rapidez y 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 del elemento, el cual se especifica en el Anexo A.5.1.

b) Ultrasonidos

Ensayo no destructivo, el cual que al igual del anterior radica en su simplicidad y su posibilidad de realizar un gran número de mediciones sobre la estructura sin comprometer su integridad, el cual nos sirve para evaluar su homogeneidad, ver inclinación de fisuras y profundidad de las mismas, el cual se especifica en el Anexo A.5.2

c) Ensayo Determinación de Fisuras.

Se procederá a la localización de las fisuras en la superficie del elemento estructural, y a la medición del ancho de la fisura. Se deben registrar las ubicaciones y anchos de las fisuras.

Utilizando un esquema de la estructura para ubicar con precisión las fisuras en el esquema. Los anchos de las fisuras se pueden medir con una precisión de alrededor de 0,025 mm utilizando un fisurómetro de regla, que es una pequeña regla de mano con una escala, que es una regla con líneas claramente marcadas, cada una de ella de un ancho especificado. En la figura 5.8 se puede apreciar de un fisurómetro de regla.

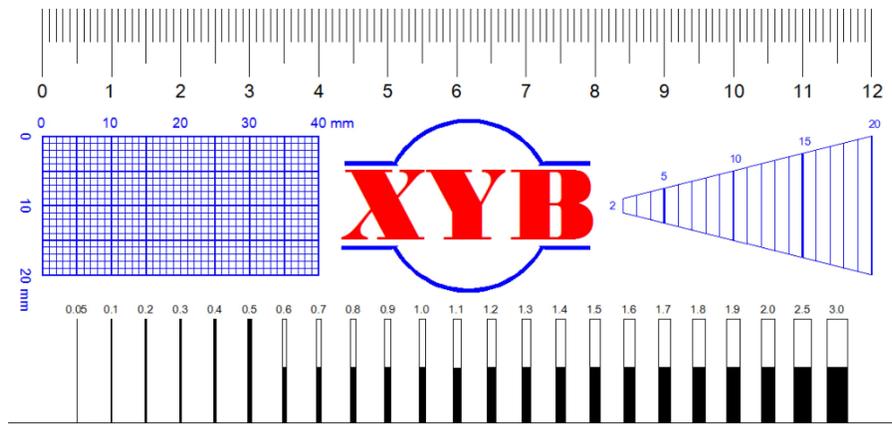


Figura 5.8 Regla para medir Fisuras

Fuente: CivilGeeks.com

El esquema debe incluir observaciones tales como descascaramiento, armaduras expuestas, deterioros superficiales y manchas de óxido. Las condiciones internas en la ubicación de una fisura específica se pueden observar usando endoscopios flexibles o boroscopios rígidos. El movimiento de las fisuras se puede monitorear mediante indicadores de movimiento. La normativa que rige este ensayo es ACI 224R. Para el cual se requiere instalar testigos de yeso de 70 x 40 mm y 6 mm de espesor que hay que colocar al menos en el arranque de la grieta, otro al centro y otro en la cola; fecharlos, numerarlos y llevar un estadillo para su inspección y comprobación de al menos una vez por mes durante al menos 6 meses. Ver Figura 5.9.

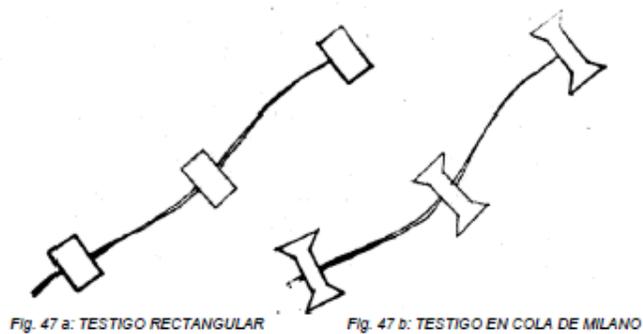


Figura 5.9 Formas de Colocación de Testigos

Fuente: Manual de Patologías de Hormigón Armado. Ventura Rodríguez

Otro procedimiento, para medir grietas con precisión, es el comparador mecánico, que se fija a ambos lados de la fisura, y nos permite dibujar la gráfica: Tiempo/ incremento de deformaciones, también podemos observar la incidencia de la temperatura

Otro procedimiento consiste en trazar una línea perpendicular a la fisura y sobre ella anclar clavos a cada lado. Después con un calibrador se puede realizar la medición. La precisión es del orden de 0.1mm, suficiente en general para nuestro trabajo.

d) Control de Asentamientos e Inclinación.

Para evaluar la tasa de asentamiento de la estructura se debe realizar varios ensayos entre ellos está el estudio con equipos topográficos para la creación de curvas iso-asentamiento de los niveles de edificación para poder verificar asentamientos en la infraestructura.

Una vez procesada la estructura se deben controlar los asentamientos, ya que en las normativas bolivianas no se toma en cuenta valores máximos de asentamientos se tomará como referencia valores utilizados por diferentes autores.

Autores como Leonardo Zeewaert Wiechers, Tomlinson, Burland Burgidge, Terzaghi, Peck, Hanson & Thorburn, Reese y O'Neill, Meyerhof, etc.; han planteado formulaciones teóricas y experimentales, que generalmente asumen condiciones de suelos diferentes a las existentes; sin ser desvirtuadas éstas de la práctica ingenieril.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede considerar el calificar la magnitud del asentamiento considerado para este tipo de fundaciones (La norma NSR-10, permite un máximo de 2.54 cm), mientras que las normativas bolivianas indican que se debe realizar un cálculo del asentamiento total y diferencial antes y después de la inspección de la obra.

La normativa de Evaluación Post Sísmica mexicana nos indica valores de asentamiento con sus respectivas clasificaciones, el cual es tomado para efectos post sísmicos y se lo verá en la Metodología de Evaluación Post Sísmica.

Para evaluar la **inclinación** se debe realizar diferentes ensayos entre ellos en control de los asentamientos para verificación de giros, este fenómeno es muy frecuente en edificaciones muy esbeltas, y se produce por el movimiento de la zapata debido a problemas de asentamiento, la cual se apoya el muro exterior de una construcción.

Se debe medir con equipos de alta precisión como ser equipos topográficos, medidores laser, etc. La medición debe ser la abertura α que es la que se produce en la zapata de la cimentación es el mismo que se aparece en el desplome de la fachada o muro exterior.

También la nueva Guía Boliviana de diseño sísmico en su capítulo 7.10 especifica el tema de desplazamiento por efecto sísmico, donde indica que los desplazamientos y rotaciones de los diagramas de piso deben calcularse para acciones sísmicas, incluyendo el efecto torsional accidental.

Los desplazamientos laterales debidos al efecto sísmico se obtienen mediante.

$$\delta_x = \frac{C_d * \delta_{xe}}{I_e}$$

C_d = Factor de ampliacion de desplazamientos

δ_{xe} = desplazamiento determinado por análisis elástico

I_e = Factor de Importancia

La deriva, relación entre el máximo desplazamiento relativo de entrepiso y la altura de piso no debe ser mayor a la especificada en la Tabla.

<i>Material predominante</i>	$\Delta_i = \delta_i/h_i$
Hormigón Armado	0.012
Muros de ductilidad limitada	0.005
Acero	0.010
Albañilería confinada y/o armada	0.004
Madera	0.007

Tabla 5.1 Relación entre el desplazamiento y la altura del piso

Fuente: Guía Boliviana de Diseño Sísmico

Mientras para trabajos más rápidos la Metodología de Evaluación Mexicana también proporciona Valores de inclinación con su respectiva clasificación, el cual se lo verá en la Metodología de Evaluación Post Sísmica.

e) Reconocimiento Forestal.

Una vez realizado el inventario forestal y el análisis de coberturas vegetales vistos anteriormente y datos generales del entorno, Se debe evidenciar las coberturas vegetales, árboles que influyan en el terreno circundante debido a su proximidad con la edificación. Ya que éstos pueden ser causa de algunas patologías, Los árboles que suelen dar más problemas son los de crecimiento rápido, sauce, acacia, chopo, álamos, olmo, pulima, etc.

Las características de la vegetación como ser, sistema radicular, profundidad de las raíces, extensión del sistema radicular, requerimientos de agua, se debe encontrar en el inventario forestar.

Para evitarse problemas se deben plantar los árboles a una distancia de seguridad entre ellos y la cimentación equivalente a 1.5 H siendo H la altura de crecimiento máximo del árbol. Caso contrario los efectos que pueden causar sobre el edificio son los presentados en la figura que serán diferentes en función de árbol esponje el terreno por

efectos de sus raíces (a) o que al contrario absorba humedad del terreno produciendo su deshidratación (b).

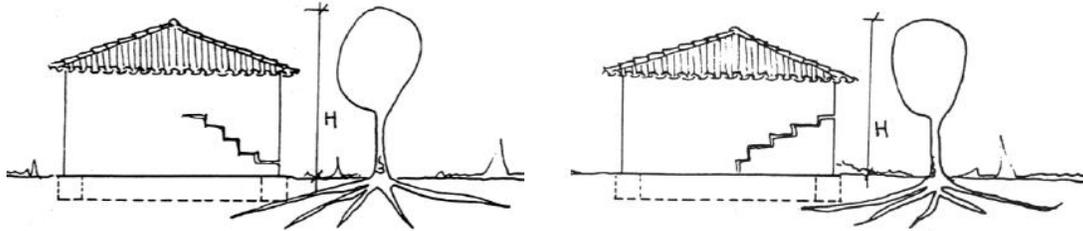


Figura 5.10 Efectos de Raíces

Fuente: Manual de Patologías de Hormigón Armado. Ventura Rodríguez

5.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE UN EDIFICIO

La metodología de evaluación propuesta en este capítulo está 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.

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 Metodología de Evaluación Post Sísmica, es una forma más sencilla y económica (al no requerir ensayos) de realizar una Evaluación.

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 individualmente 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.

5.1.1 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

5.1.1.1 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 de Evaluación Estructural Simplificada.

El procedimiento del método europeo EN 309020 Denominado CONTECVET 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.

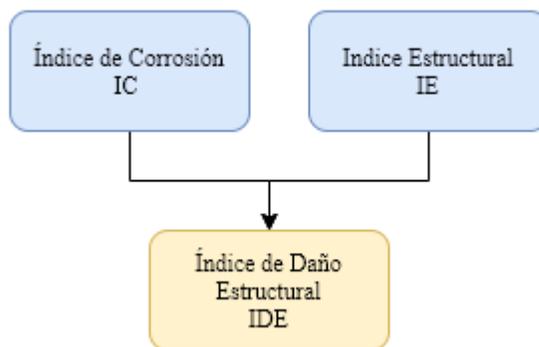


Figura 5.11 Cálculo del índice de Daño Estructural

Fuente: Propia

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 5.12 muestra el Diagrama de Flujo del proceso completo de Evaluación estructural Simplificada.

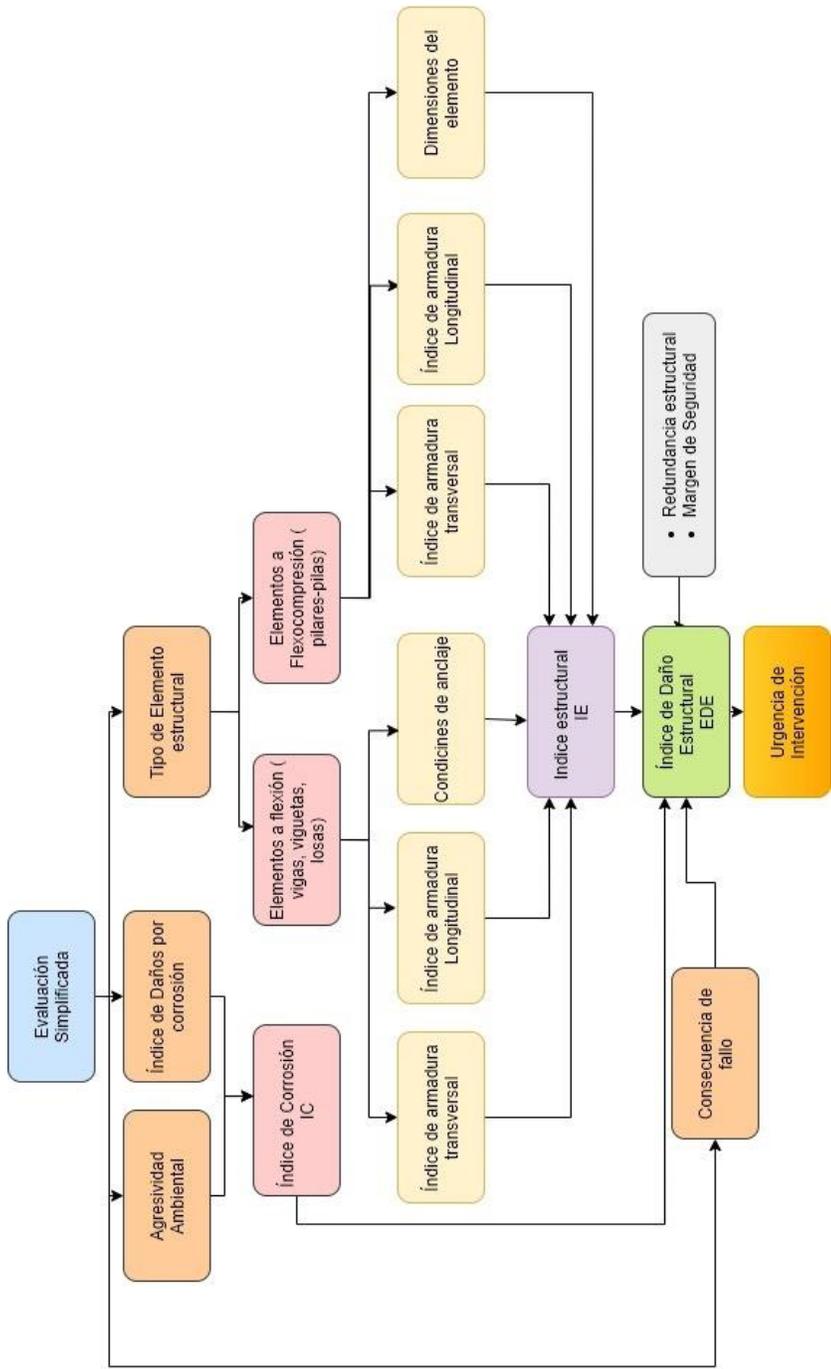


Figura 5.12 Diagrama de Flujo de Evaluación estructural Simplificada

Fuente: Propia

Cálculo del Índice de Corrosión IC

Representa los daños actuales y la velocidad de deterioro. Establece cuatro niveles de corrosión en función a otros dos parámetros (AA e IDC).

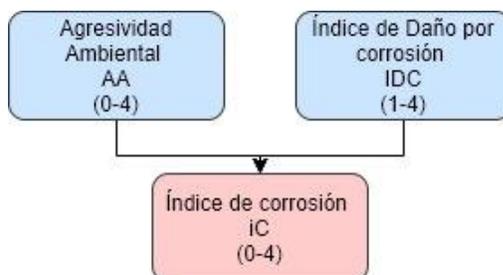


Figura 5.13 Cálculo del Índice de Corrosión.

Fuente: Propia

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 el Anexo A5 se presentan las clases de exposición.

El valor de la Agresividad Ambiental AA, se determinará adjudicando puntos de 0 a 4 a las clases de exposición (Tabla A.8), como se muestra en la Tabla 5.2.

<i>Clase de Exposición</i>	<i>Puntuación</i>
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 5.2 Valor de la Agresividad Ambiental

Fuente: método europeo EN 309020 "CONTECVET".

Índice de Daño por Corrosión IDC

<i>Indicador</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
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 5.3 Valores de Índice de Daño por Corrosión

Fuente: Método europeo EN 309020 “CONTECVET”

Estos Indicadores se deben haber determinado en la fase de Inspección Visual y Obtención de Datos previos

$$IDC = \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Puntuación del Indicador}_i}{6}$$

(Ec.5.1)

Una vez obtenidos AA e IDC, se obtiene IC, que es también la media aritmética de estos dos valores.

$$IC = \frac{AA + IDC}{2}$$

(Ec. 5.2)

Finalmente, según el valor de IC, que toma valores de 0 a 4, se determina el nivel de corrosión del elemento.

<i>Valor del Índice de Corrosión</i>	<i>Nivel de Corrosión</i>
0 – 1	N (Sin corrosión)
1 – 2	B (Baja Corrosión)
2 – 3	M (Corrosión moderada)
3 - 4	A (Corrosión alta)

Tabla 5.4 Valor Índice de corrosión

Fuente: Método europeo EN 309020 “CONTECVET”

Índice Estructural IE

Indica la sensibilidad del elemento estructural a la corrosión de las armaduras.

Una vez valorada la agresividad ambiental que se pedía en la inspección se procede a valorar el nivel de daño.

Dependiendo del tipo de elemento estructural se tienen en cuenta unos u otros parámetros. Así, se estudiarán por un lado los elementos sometidos a flexión (vigas, viguetas y losas) y los sometidos a flexo-compresión (pilares).

En la Siguiete figura se muestra un esquema completo para el cálculo del índice Estructural.

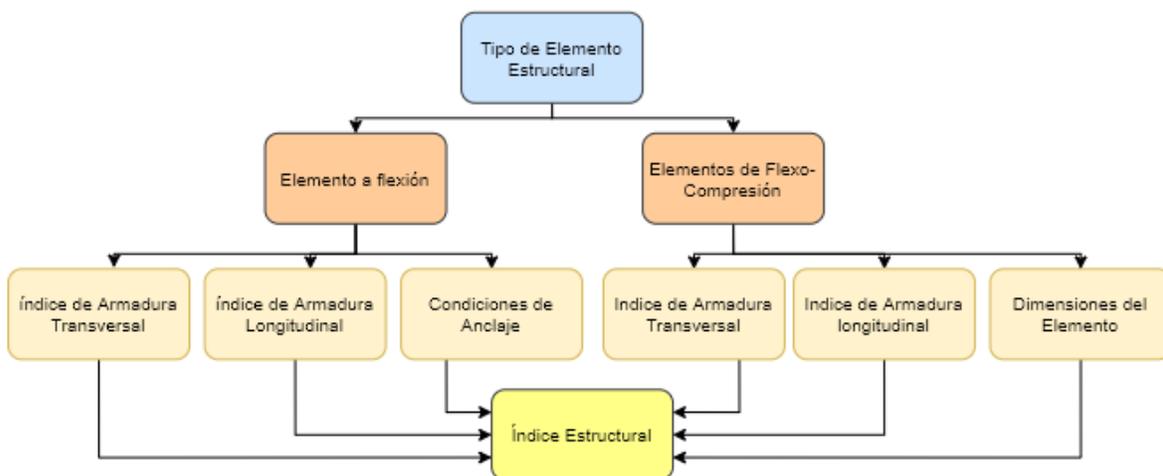


Figura 5.14 Índice Estructural

Fuente: Propio

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 este 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 5.5, el Índice de Armado Transversal.

ϕ_t	<i>Separación de estribos</i>			<i>Sin estribos</i>
	$St \leq 0.5d$	$St > 0.5d$ (4 ramas)	$St > 0.5d$	
$> 8 \text{ mm}$	1	1	2	3
$\leq 8 \text{ mm}$	2	2	3	

Tabla 5.5 Índice de Armadura Transversal.

Fuente: Método europeo EN 309020 "CONTECVET"

Dónde

ϕ_t = Diámetro de 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 qué categoría están:

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

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.

Índice Estructural

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

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

Estos parámetros son los datos de entrada para localizar en la Tabla 5.6, el Índice Estructural.

<i>Índice de Armadura Transversal</i>	<i>Armadura Longitudinal</i>			
	<i>$\phi \geq 20mm$</i>		<i>$\phi < 20mm$</i>	
	<i>Alta Cuantía</i>	<i>Baja cuantía</i>	<i>Alta cuantía</i>	<i>Baja cuantía</i>
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Tabla 5.6 Índice Estructural para elementos sometidos a flexión

Fuente: Método europeo EN 309020 "CONTECVET"

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 5.7, el Índice de Armado Transversal.

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

Tabla 5.7 Índice de Armado Transversal.

Fuente: Método europeo EN 309020 “CONTECVET”

Dónde

ϕ_t = Diámetro de armadura transversal, en mm

λ = Índice de Pandeo. (Ec. 5.4)

$$\lambda = \frac{\text{Separación entre estribos } S_t \text{ (mm)}}{\text{Diámetro Armadura Longitudinal } \phi_t \text{ (mm)}}$$

(Ec. 5.4)

Determinación del 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

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

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

Estos parámetros son los datos de entrada para localizar en la Tabla 5.8, el Índice Estructural.

<i>Índice de Armado Transversal</i>	<i>$\eta > 0.75$</i>		<i>$\eta < 0.75$</i>	
	<i>$S_t > 5\phi_t$</i>	<i>$S_t < 5\phi_t$</i>	<i>$S_t > 5\phi_t$</i>	<i>$S_t < 5\phi_t$</i>
1	I	I	II	III
2	II	II	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Tabla 5.8 Índice Estructural para elementos sometidos a flexo-compresión.

Fuente: Método europeo EN 309020 "CONTECVET"

Dónde

S_t = Espaciamiento entre barras principales dispuestas verticalmente, en mm.

ϕ_t = Diámetro de la armadura longitudinal, en mm.

η = Índice de Estallido, (Ec, 5.5)

$$\eta = \frac{A'}{h * b}$$

(Ec, 5.5)

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 .

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

Consecuencia de Fallo

Se ha de tener en cuenta también, además de los dos índices anteriores. Si las consecuencias del fallo no son preocupantes se considerará LEVE.

Si las consecuencias del fallo pueden producir riesgos para la vida o importantes daños materiales se considerará SIGNIFICANTE.

Una vez que se han obtenido los dos índices IC e IE y conocida la consecuencia del fallo, se obtiene el valor de IDE, que, al igual que los dos índices anteriores también establece cuatro niveles.

Estos cuatro niveles indican la gravedad del estado de la estructura indicando la gravedad del daño que ha sufrido, pudiendo ser: Despreciable (D), Medio (M), Severo (S) y Muy Severo (MS).

Índice de Daño Estructural IDE

De acuerdo a la Figura 5.11, el Índice de Daño Estructural, se obtiene mediante:

- Índice de Corrosión IC
Calificaciones de 0 – 4.
- Índice Estructural IE
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 5.9.

<i>IC</i>	<i>IE</i>							
	<i>I</i>		<i>II</i>		<i>III</i>		<i>IV</i>	
	<i>Consecuencias de Fallo</i>							
	<i>Leves</i>	<i>Signif.</i>	<i>Leves</i>	<i>Signif.</i>	<i>Leves</i>	<i>Signif.</i>	<i>Leves</i>	<i>Signif.</i>
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 5.9 Índice de Daño Estructural.

Fuente: Método europeo EN 309020 “CONTECVET”

Dónde,

D = Daño Despreciable.

M = Daño Medio.

S = Daño Severo.

MS = Daño Muy Severo.

Margen de seguridad (opcional)

Puede influir en la reducción de la calificación de IDE de la estructura. Este margen de seguridad es la relación entre los esfuerzos últimos de los elementos (M_U o N_U) y los esfuerzos característicos de la evolución (M_k o N_k) mediante la siguiente expresión:

$$SM = \frac{M_U}{M_K} \text{ o } \frac{N_U}{N_K}$$

(Ec, 5.6)

Donde M_U o N_U son los esfuerzos últimos del elemento a considerar y M_K y N_K los esfuerzos característicos de evaluación

En función del valor de esta ecuación se determinará:

<i>Margen de seguridad</i>	<i>BAJO</i>	<i>MEDIO</i>	<i>ALTO</i>
MS	$1,4 < MS < 2,0$	$2,0 < MS < 3,0$	$MS > 3,0$

Tabla 5.10 Márgenes de seguridad.

Fuente: Método europeo EN 309020 "CONTECVET"

En el caso de que se detecten valores del margen de seguridad por debajo de 1,4 se deberá proceder inmediatamente a una evaluación detallada de la estructura.

La aplicación de la reducción del IDE según el valor del MS será:

<i>IDE</i>	<i>Margen de seguridad BAJO</i>	<i>Margen de seguridad MEDIO</i>	<i>Margen de seguridad ALTO</i>
D	D	D	D
M	M	D	D
S	S	M	D
MS	MS	S	M

Tabla 5.11 Valor Final de IDE teniendo en cuenta el margen de seguridad.

Fuente: Método europeo EN 309020 "CONTECVET"

Aplicando la reducción o no al índice de Daño Estructural se obtiene finalmente el nivel de daño estructural y por lo tanto podemos pasar a la última etapa del proceso que es la prognosis.

Prognosis.

Consiste básicamente en clasificar la urgencia de la intervención, en años, que requiera la estructura. Esta clasificación se basa de IDE obtenido en la evolución. Así, las equivalencias son las siguientes:

<i>IDE</i>	<i>Urgencia de Intervención (Años)</i>	<i>Sugerencia de Actuación</i>
D	>10	Inspección superada ese tiempo.
M	5-10	Inspección superada ese tiempo.
S	2-5	Evaluación Detallada
MS	0-2	Reparación Urgente y Recálculo mediante Evaluación Detallada.

Tabla 5.12 Urgencia de Intervención de acuerdo al Índice de Daño Estructural

Fuente: Método europeo EN 309020 "CONTECVET"

5.1.1.2 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 5.15 muestra el procedimiento completo de esta Evaluación.

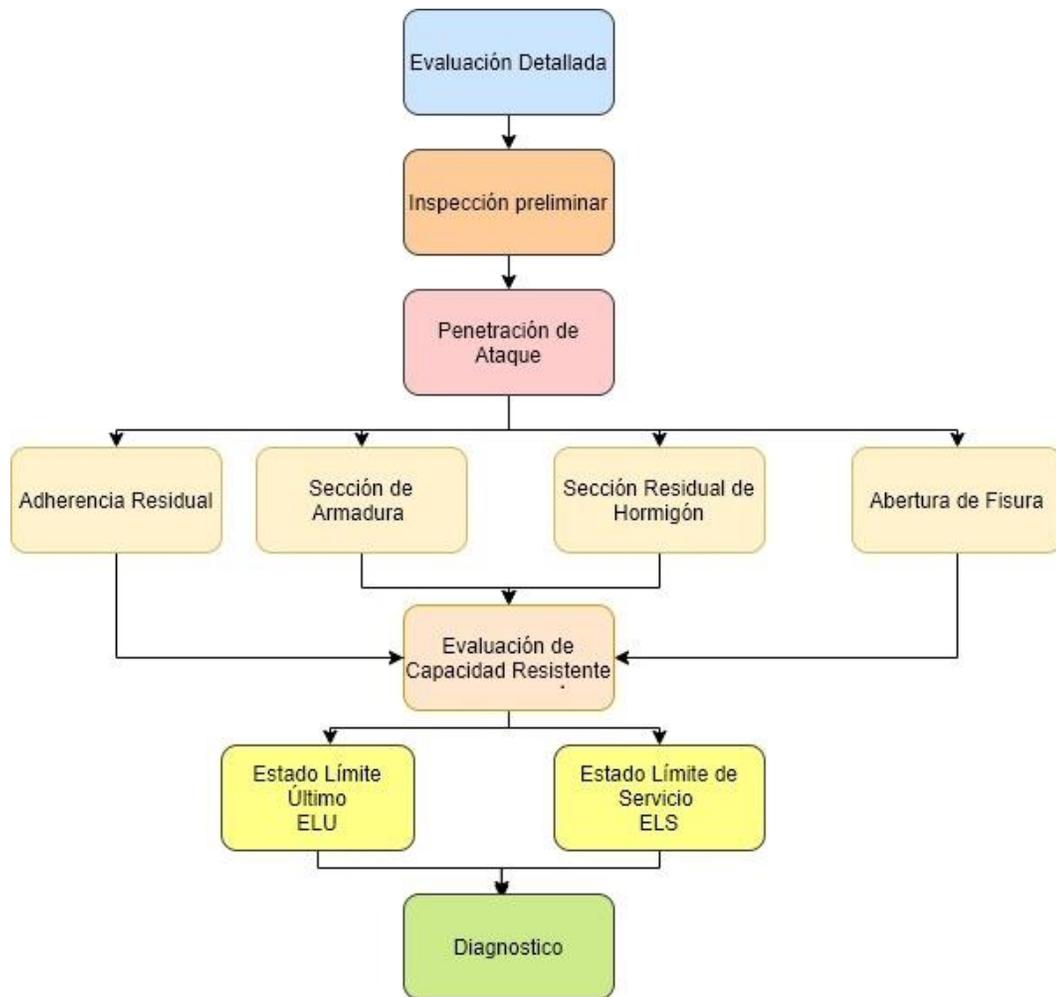


Figura 5.15 Diagrama de flujo de Evaluación Estructural Detallada.

Fuente Propia

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. Para el cálculo de la Penetración de ataque se sigue el procedimiento del Anexo A.7.

Adherencia Residual

La formulación desarrollada para determinar la influencia de la penetración de ataque en la pérdida de adherencia se muestra en el Anexo A.8.

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).

Sección Residual de Armadura

Una vez obtenida la penetración de ataque P_x y la sección transversal de la armadura es posible obtener el fiambre de la barra afectada, a partir de la expresión:

$$\phi_c = \phi_o - \alpha - P_x$$

Ec. 5.8

Donde.

P_x = Penetración de ataque de la corrosión, en mm. (Ver Anexo A.7)

ϕ_c = Diametro de la barra corroída, en mm.

ϕ_o = Diametro 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 5.16 muestra la reducción de la sección de las armaduras mediante corrosión generalizada y localizada, de acuerdo a la penetración de ataque.

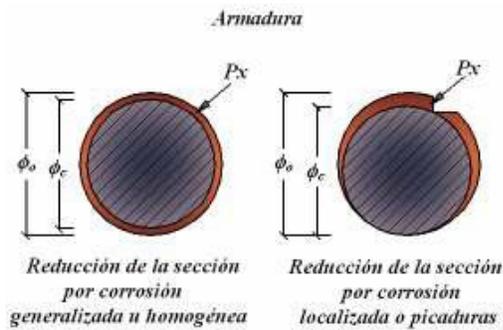


Figura 5.16 Pérdida de sección de la armadura.

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

Sección Residual de Hormigón

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

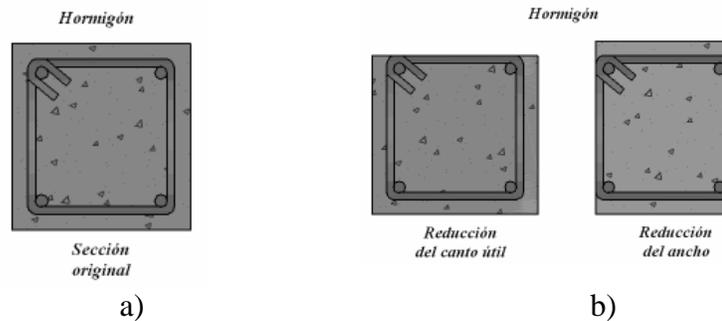


Figura 5.17 a) Sección Inicial de Hormigón. b) Sección Residual de Hormigón.

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

Abertura de Fisura

Las expresiones desarrolladas a parte de los resultados experimentales para evaluar los condones de fisuración en estructuras corroídas y que proporciona el valor característico del ancho de fisura se encuentran en el Anexo A.9.

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 5.13, muestra los estados a comprobar en una estructura.

<i>Tipos de Estados Últimos</i>	<i>Descripción</i>
Resistencia	Fallo de una parte o toda la estructura
servicio	Interrupción del uso normal de la estructura

Tabla 5.13 Descripción de tipos de estado último

Fuente: Propia.

Estado Límite de Resistencia

Para estudiar si una estructura ha sobrepasado el estado límite de resistencia, la Ecuación Ec. 5.9 debe ser verificada.

$$\phi_n R_n \geq U$$

Ec. 5.9

Donde.

ϕ_u = *Factor de Minoración.*

R_n = *Resistencia Nominal de la estructura.*

U = *Carga última de Diseño.*

Las cargas deben ser mayoradas mediante las siguientes ecuaciones especificadas en el Código ACI 2005. Ver Anexo A.10.

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:

Sesiones controladas por tracción	1.00
Sesiones controladas por Compresión	
Elementos con refuerzo espiral	0.82
Elementos reforzados	0.80
Cortante y/o torsión	0.80
Aplastamiento de 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:

Sesiones controladas por tracción	0.90
Sesiones controladas por Compresión	
Elementos con refuerzo espiral	0.70
Elementos reforzados	0.65
Cortante y/o torsión	0.75
Aplastamiento de concreto	0.65

Recálculo de Estructura

Para la evaluación o recálculo de una estructura es necesario establecer nuevas propiedades y secciones de los materiales, para realizar una estimación certera del deterioro y pérdidas de las resistencias en 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 límite 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. Ver Anexo A.11.

5.1.1.3 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.

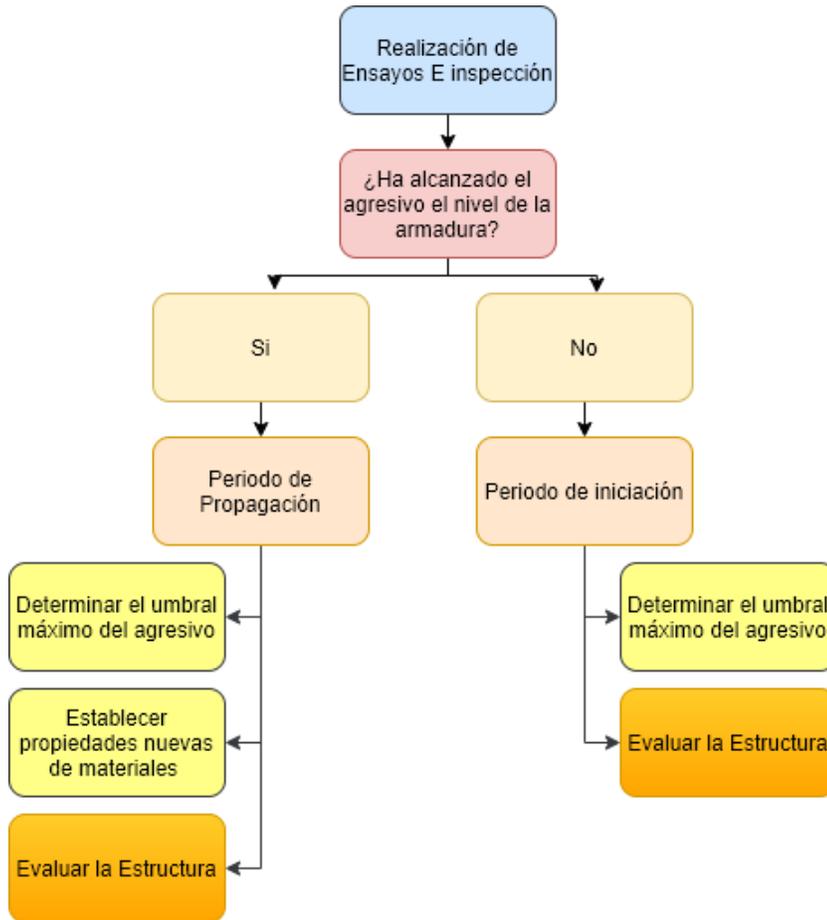


Figura 5.18 Diagrama de Flujo para el diagnóstico de una estructura.

Fuente: Propia

Periodo 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 despavise 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. A.11) y la Carbonatación relativa utilizando la ecuación (Ec. A.12). Ver Anexo A.7.

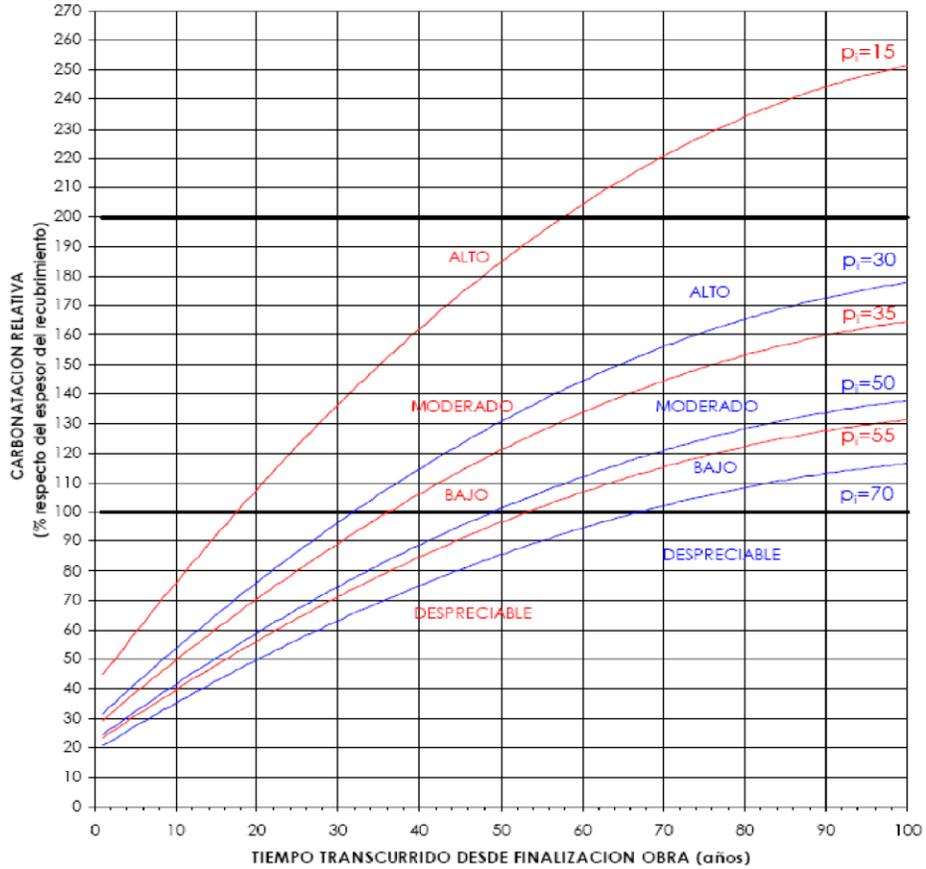


Figura 5.19 Calificación del Riesgo de Corrosión.

Fuente: Guía Para la Inspección y Evaluación Preliminar De Estructuras De Hormigón En Edificios Existentes

Periodo 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. A.10). Ver Anexo A.7.

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.

5.1.2 EVALUACIÓN POST SÍSMICA

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 más 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 5.20, donde indica la secuencia de revisión y clasificación de seguridad.

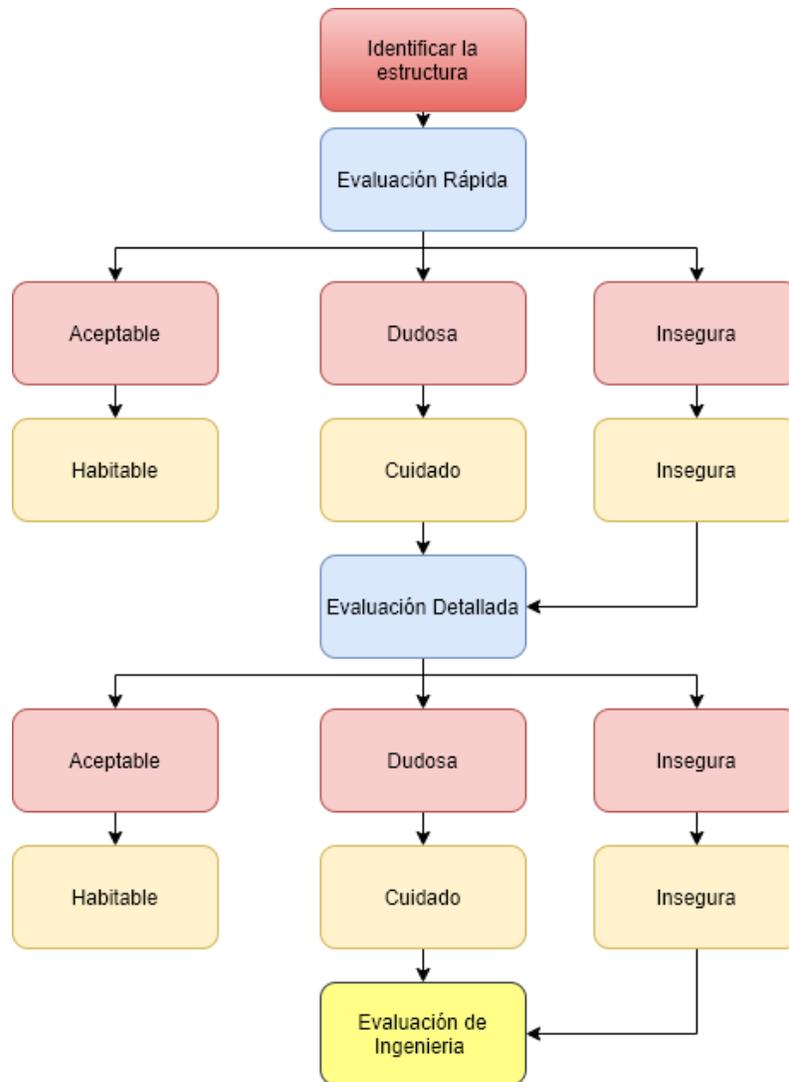


Figura 5.20 Procedimiento de evaluación de la seguridad de la estructura

Fuente: Propia.

5.1.2.1 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 5.14

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

Tabla 5.14 Criterios básicos para la evaluación rápida

Fuente: Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones

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.

5.1.2.2 Evaluación Post Sísmica 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 F), con las descripciones de la edificación y de la estructura, mencionando la zonificación sísmica en donde se encuentra emplazada (ver capítulo 5.1.2.6 Datos Generales del proyecto, inciso d Sismicidad), 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 5.15

<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Buena	Si $\frac{H_1}{B_1} < 2.5$, Y no tiene alguna condición correspondiente a la clasificación de mala.
Intermedia	Si $2.5 \leq \frac{H_1}{B_1} < 4$,

	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 5.15 Criterios para evaluar la regularidad vertical.

Fuente: Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones

Donde.

H_1 = Altura del elemento o edificio, en m.

B_1 = Base del elemento, en m.

Evaluación de la integridad de la 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

<i>Inclinación</i>	<i>Clasificación</i>
< i	A
i – 1.5 i	B
> 1.5 i	C

Tabla 5.16 Evaluación del porcentaje de inclinación.

Fuente: Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones

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

$$i = \frac{100}{100 + 3 * H_i}$$

Ec. 4.9

H_i = Altura del elemento o edificio, en mm

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. (Ver Capítulo 5.1.3 Realización de Pruebas y Ensayos, Control de asentamientos e Inclinación).

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:

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

Tabla 5.17 Evaluación del asentamiento

Fuente: Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones

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 más 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:

<i>Grado de Daño</i>	<i>Criterio</i>
I	Grietas pequeñas, pero visibles sobre la superficie de concreto. (Grietas con ancho menor a 0.2 mm)
II	Grietas claramente visibles sobre la superficie de concreto. (Grietas con ancho entre 0.2 y 1.0 mm)
III	Agrietamiento local del recubrimiento de concreto. Grietas grandes.

	(Grietas con ancho entre 1.0 y 2.0 mm)
IV	Agrietamiento apreciable del concreto: Pérdida del recubrimiento y Presencia de barras expuestas.
V	Barras de refuerzo pandeadas, núcleo del concreto agrietado, aplastamiento de la columna o muro, asentamiento o inclinación en el sistema de piso.

Tabla 5.18 Criterios para la evaluación del grado de daño estructural.

Fuente: Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones

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

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

Tabla 5.19 Clasificación de la edificación de acuerdo al daño estructural.

Fuente: Manual de Evaluación Post-Sísmica de la Seguridad Estructural de Edificaciones

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:

- a. **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.
- b. **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.
- c. **Habitable:** Corresponde a una edificación que no clasifique como insegura o cuidado.

CAPÍTULO VI

**ORIENTACIÓN PARA UNA CORRECTA
REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE
HORMIGÓN ARMADO**

6.1 INTRODUCCIÓN

Existe un indiscutible crecimiento de la necesidad de intervención de estructuras de hormigón armado con el fin de preservar su vida útil de la estructura, 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.

6.2 METODOLOGÍA GENERAL

Una metodología general para una solución duradera de los problemas patológicos en las estructuras de hormigón armado se presenta en la Figura 6.1.



Figura 6.1 Metodología General de Análisis y Solución a los Problemas Patológicos en Estructuras de Hormigón Armado

Fuente: Propia

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.

6.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE REPARACIÓN

En todos los procedimientos o sistemas 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 6.2.

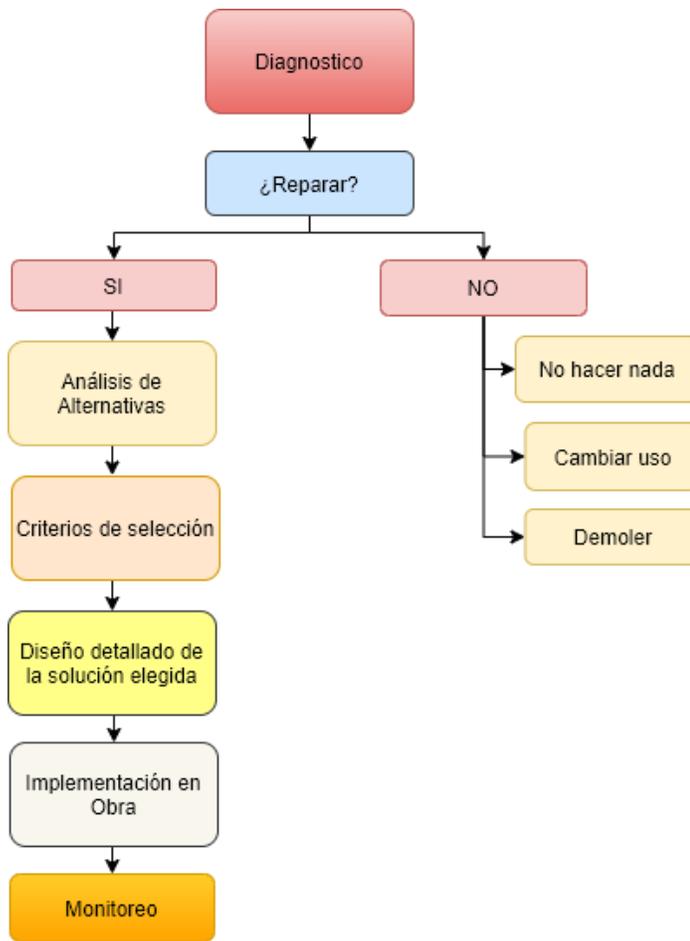


Figura 6.2 Diagrama a seguir para la reparación de estructuras.

Fuente: Propia

6.3.1 Alternativas de Reparación

Existen varios criterios para seleccionar la mejor o más factible alternativa de rehabilitación o reparación, adecuada a las características específicas de la estructura. El diagrama de la Figura 6.3 muestra aquellas que deben ser consideradas para obtener una solución factible.

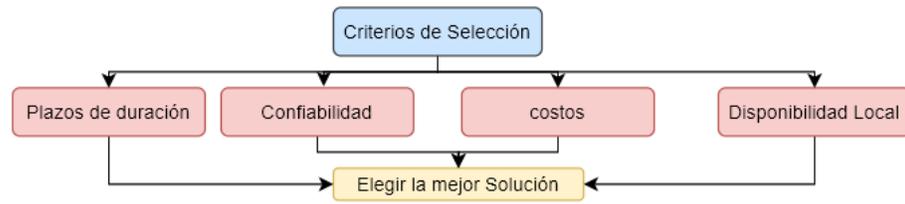


Figura 6.3 Criterios de selección de la alternativa más conveniente.

Fuente: Propia

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, sólo mantenimiento y monitoreo.
- Reparaciones menores de la estructura y mantenimiento.
- Reparaciones mayores de la estructura y mantenimiento.

6.3.2 Diseño de solución a una patología

Existen variados modos de reparación. La Figura 6.4 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 6.4 Etapas que constituyen un diseño detallado de la solución de un problema patológico en estructuras de hormigón armado.

Fuente: Propia

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

CAPÍTULO VII
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 GENERALIDADES

La presente investigación plantea como problema la falta de unificación de criterios en los estudios de Patología en Bolivia, para la valoración de daños en edificaciones de Hormigón Armado. Frente a esta problemática se plantea como principal objetivo la de proponer una Metodología de Evaluación estructural en Elementos de Hormigón Armado, que nos ayude a generar un diagnóstico más certero y confiable a la hora de realizar un estudio patológico.

Para lograr este objetivo se diseña una estructura metodológica del proceso, a través de cuatro fases de investigación.

La primera fase comprende la exploración y búsqueda de las fuentes y bibliografía.

La segunda fase es la recolección de datos a través de la inspección visual y Realización de ensayos, el cual se vio en el Capítulo 5.

La tercera fase es la sistematización y el análisis de la estructura a través de una evaluación del Edificio, el cual puede ser una Evaluación estructural o una Evaluación Post Sísmico, según el caso corresponda. El cual se presente en el Capítulo 5.

La cuarta fase es donde se da una orientación para realizar una correcta reparación de la edificación, en base a criterios ya vistos en el Capítulo 6.

Finalmente, se argumenta a través herramientas de ayuda para realizar una mejor evaluación, las cuales están representadas en la parte de los Anexos.

7.2 CONCLUSIONES

Realizando la Investigación para hallar metodologías para Estudios Patológicos de elementos de hormigón armado se concluye lo siguiente.

- El proceso de investigación permitió elaborar una metodología para realizar una evaluación patológica en edificaciones de Hormigón armado que genere un diagnóstico conclusivo en edificaciones con el propósito de definir los lineamientos generales que orienten en la práctica al especialista a la hora de Realizar una Evaluación Patológica.
- El análisis de los aspectos legales y normativos de diferentes países frente a los estudios de Patologías en la construcción presenta diferentes niveles de desarrollo; para Bolivia no se contaba con ninguna Norma o reglamento vigente que contemple la evaluación o el análisis de vulnerabilidad sísmica en edificaciones existentes, el 20 de septiembre de 2020 se presenta de manera oficial la primera Guía Boliviana de Diseño Sísmico, siendo la única guía para el análisis sísmico en Bolivia. Sin embargo, el reglamento establece lineamientos que no son suficientemente amplios para definir los procedimientos de evaluación detallada, sino sólo referencias donde se debe consultar a la hora de realizar una evaluación, para realizar una calificación cualitativa del estado de las edificaciones entre los grados, habitable, insegura o cuidado.
- En la teoría hay varios autores que representan sus metodologías que presentan diferentes fases de investigación, las más comunes son las fases de documentación, observación de campo, toma de datos, material de prueba, evaluación e informe final, sin embargo, no se presenta consenso en el alcance de sus variables.
- La Metodología de Evaluación Estructural en Elementos de Hormigón Armado, responde a estructura de la investigación, tomando en cuenta los aspectos más importantes de todos los autores, para definir procesos más

detallados de cada fase de la investigación de un estudio patológico de elementos de Hormigón Armado.

- Los resultados de la propuesta metodológica muestran dos metodologías de evaluación Estructural donde se destaca la evaluación Post sísmica siendo una de las más importantes, debido a la necesidad urgente de obtener resultados de manera rápida, ya que no siempre se puede disponer de tiempo necesario para realizar una evaluación y no exponer la seguridad de las personas que habitan el lugar. Sin embargo, se pueden tener ciertos problemas debido a falta de mediciones y ensayos. Es por eso que se aplica la otra metodología de estudio detallado, el cual analiza elemento por elemento y así obtener un resultado más confiable.
- Los errores en la evaluación también pueden deberse a la falta de ensayos, como consecuencia de los altos costos que conlleva a la realización de diversos tipos de ellos; o a la escasa información suministrada, lo cual lleva a realizar indagaciones o nuevos estudios que precisan tiempo y recursos.
- Los ensayos son claramente la forma más certera de conocer el estado de los materiales componentes de los elementos estructurales, dejando de la subjetividad del evaluador y corroborando las observaciones de las mediciones realizadas in Situ de manera de tener resultados más certeros.
- Otros errores cometidos en la evaluación son como se vio en el capítulo 4, la falta de entrenamiento de los evaluadores, subjetividad de los evaluadores a la hora de calificar el estado de una estructura, la falta de un plan de contingencia para poder mitigar problemas futuros, falta en la planificación de las visitas de los evaluadores y el mal manejo de los ocupantes.
- Por otro lado, en estructuras antiguas y la mediación continua de normas o códigos de diseño debido a la experiencia adquirida en el tiempo, lleva a considerar imprescindible la realización de un recálculo estructural a dichas estructuras, toda vez que se presenten algún índice de daño.
- La Metodología de Evaluación Estructura de Elementos de Hormigón Armado contempla el diseño y la elaboración de la una “ Guía para un

Estudio de Patologías de la Construcción en las Edificaciones de Hormigón Armado” que permitan otorgar una calificación de la estructura antes de su intervención, viendo así el nivel de daño que posee para así aplicar metodologías de reparación correctas y no causar sobreestimación del daño, llevando a la ocupación peligrosa o la demolición innecesaria de la estructura.

7.3 RECOMENDACIONES

Algunas recomendaciones:

- Es imprescindible disponer de una adecuada información del elemento estudiado como base de partida, previamente al inicio de los trabajos, como edad y uso de la estructura, planos arquitectónicos, planos estructurales, especificaciones técnicas, estudio de suelos, tipo de ambiente en el que está inmerso el edificio y/o elemento, entre otros.
- Realizar una buena planificación de la investigación a través de diagramas Gantt u otros de manera de generar una estrategia de intervención, donde se debe planificar los elementos a ensayar, realizar un estudio de costos; todo ello con la finalidad de anticiparse a posibles inconvenientes.
- Debido a que en una estructura posee 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.
- En estructuras que presenten altas fallas que comprometan su estabilidad de la misma, poniendo en riesgo la vida de sus ocupantes, es importante tomar todas las previsiones necesarias en la elaboración de ensayos destructivos. En estos tipos de estructuras es necesario el recálculo de la estructura para garantizar su seguridad.
- En el capítulo 5, 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.

- Se recomienda utilizar, los formularios para Inspección y Observación, Evaluación estructural rápida y, además, un Check List, dispuestos en el Anexo H. Todo esto con la finalidad establecer una metodología ordenada y asegurar una correcta y completa ejecución del procedimiento de evaluación.
- El marco Legal y normativo en Bolivia, Guía Bolivia de Diseño Sísmico, no sustenta los precedentes para estudios de patologías de la construcción, por lo tanto, se establece la necesidad de generar un mecanismo normativo que formalice los Estudios de Patología de Construcción en Edificaciones de Hormigón Armado en Bolivia.
- Con esta metodología se pretende incluir en la normativa boliviana un Reglamento de construcciones Sismo Resistente (sobre Estudios de Patología) y darle la formalidad para así tener un control de la Calidad y Patología de la Construcción de la sociedad Boliviana de Ingenieros.
- Profundizar los planteamientos presentados en esta metodología con futuras investigaciones que desarrollen un método de Evaluación Estructural más detallado tomando en cuenta normativas y reglamentos bolivianos.