



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y
procedimientos de ensayos no destructivos, previo a su intervención y
reparación.

Autor: Mario Raúl Ipiates Aguirre

Director: ING. JUAN CARLOS MOYA MSc.

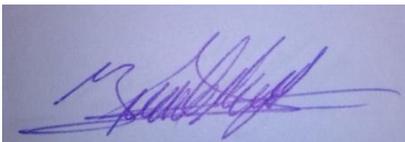
Quito, agosto de 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ingeniero **Juan Carlos Moya**, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el Proyecto de Investigación Científica con el tema: “Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y procedimientos de Ensayos No Destructivos, previo a su intervención y reparación.” del estudiante **Mario Raúl Ipiates Aguirre** , alumno de Ingeniería Civil, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, agosto 17 del 2015

EL TUTOR



Ing. Juan Carlos Moya

AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACION

Yo, Mario Raúl Ipiales, declaro que el trabajo de investigación denominado: Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y procedimientos de Ensayos No Destructivos, previo a su intervención y reparación, es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Quito, agosto 17 del 2015

EL AUTOR



Mario Raúl Ipiales

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Contenido:

Aprobación del tutor	ii
Autoría del trabajo de investigación.....	iii
Resumen.....	xii
Introducción.....	xiii
CAPITULO I	1
1. El problema	1
1.1 El objeto de investigación	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Formulación del problema.....	3
1.4 Sistematización	4
1.5 Objetivos: general y específico.....	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 Justificación.....	5
1.6.1 Justificación teórica	5
1.6.2 Justificación práctica	5
1.6.3 Justificación relevancia social	6
1.7 Hipótesis o idea a defender.....	6
1.7.1 Hipótesis o idea a defender.....	6
CAPITULO II	7
2. Marco Referencial	7
2.1 Marco Teórico	7
2.1.1 Introducción.....	7
2.1.1.1 Síntomas	8
2.1.1.2 Mecanismo.....	9
2.1.1.3 Origen.....	9
2.1.1.4 Causas	11
2.1.1.5 Consecuencia y oportunidad	11
2.1.2 Proyecto o diseño detallado de la intervención	15

2.1.3 Acciones y mecanismos de deterioro de Estructura.....	17
2.1.4 Consideraciones generales	20
2.1.4.1 Corrosión de armaduras.....	21
2.1.4.2 Ataque por cloruros	23
2.1.4.3 Pérdida de alcalinidad en el concreto.....	23
2.1.5 Acción de las cargas exteriores, procesos mecánicos	24
2.1.5.1 Tracción axial	26
2.1.5.2 Compresión axial.....	27
2.1.5.3 Flexión y corte	28
2.1.5.4 Flexión compuesta	29
2.1.5.5 Torsión	29
2.1.5.6 Efecto de la repetición de ciclos térmicos o ciclos de mojado-seco	32
2.1.6 Acciones que generan desintegración del concreto	32
2.1.6.1 Acción de las bajas temperaturas sobre el concreto – efecto de los ciclos de hielo- deshielo	32
2.1.6.2 Acción del fuego sobre las estructuras de concreto armado	37
2.1.6.3 Ataque por ácidos y bases	41
2.1.6.4 Acción de los sulfatos.....	44
2.1.6.5 Reacciones deletéreas de los agregados.....	46
2.1.6.6 Abrasión y desgaste	48
2.1.6.7 Lixiviación y eflorescencia.....	48
2.1.7 Acciones inducidas.....	50
2.1.7.1 Fluencia.....	50
2.1.7.2 Asentamientos.....	51
2.1.7.3 Pretensado	55
2.1.8 Fallas constructivas típicas.....	57
2.1.8.1 Deficiencias en el detalle y/o posicionado de la armadura	57
2.1.8.2 Deficiencias en la construcción o remoción de los encofrados	60
2.1.9 Acción sísmica	61
2.1.10 Criterios de durabilidad.....	65
2.1.10.1 Mecanismos de envejecimiento y deterioro	66
2.1.10.2 Clasificación de la agresividad del ambiente.....	67
2.1.10.3 Clasificación de los hormigones de acuerdo a la durabilidad.....	67
2.1.10.4 Agresividad del medio	70

2.1.10.5 Definición de vida útil.....	71
2.2 Marco conceptual	71
2.3 Fundamentación legal	77
2.3.1 Norma ecuatoriana de la construcción INEN.....	77
2.3.2 Código ecuatoriano de la construcción. Requisitos generales de diseño....	78
2.3.3 ACI American Concrete Institute	78
CAPITULO III	80
3. Metodología.....	80
3.1 Unidad de análisis	80
3.2 Población.....	80
3.3 Tipo de investigación.....	81
3.4 Métodos de investigación	81
3.4.1 Método inductivo cuantitativo	81
3.4.2 Método experimental.....	81
3.4.3 Método de análisis y síntesis.....	82
3.5 Técnicas e instrumentos.....	82
3.5.1 Técnicas indirectas.....	82
3.5.2 Técnicas directas	82
3.5.2.1 La observación	82
3.5.2.2 La encuesta.....	83
3.6 Prueba de hipótesis.....	84
3.6.1 Resultados de la encuesta	84
3.6.2 Conclusiones.....	95
CAPITULO IV	97
4. Propuesta.....	97
4.1 Guía de evaluación de estructuras de hormigón	97
4.1.1 Flujograma de trabajo.....	97
4.1.2 Ensayos no destructivos.....	100
4.1.2.1 Carbonatación	100
4.1.2.2 Esclerometría	101
4.1.2.3 Potencial de corrosión	103
4.1.2.4 Cohesividad del sustrato	104
4.1.2.5 Pulso ultrasónico	105

4.1.3 Determinación del índice de vulnerabilidad	106
4.1.3.1 Pórtico: hormigón -mampostería	107
4.1.4 Manifestaciones típicas - propuesta de reparación	108
4.1.6 Aplicación: caso de estudio	135
4.1.6.1 Objetivo	135
4.1.6.2 Evaluación de los elementos	135
4.1.6.3 Resultados de la evaluación y diagnóstico	136
4.1.6.4 Análisis de los resultados de evaluación	140
4.1.6.5 Índice de vulnerabilidad	141
4.1.6.5 Conclusiones y recomendaciones	143
CAPITULO V	144
5. Conclusiones y recomendaciones	144
5.1 Conclusiones	144
5.2 Recomendaciones	145
Referencias Bibliográficas	146
Referencias recomendadas	147
Anexo N.1 - Glosario	148
Anexo N.2	155
Anexo N.3	157

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido:

Tabla 1	Ataque ácido al hormigón.....	43
Tabla 2	Velocidad de ataque al hormigón de sustancias químicas.....	44
Tabla 3	Agresividad del ambiente.....	67
Tabla 4	Clasificación del hormigón frente al riesgo de corrosión.....	69
Tabla 5	Clasificación del hormigón frente al riesgo por lixiviación.....	70
Tabla 6	Agresividad del medio vs tipo de hormigón.....	70
Tabla 7	Tiempo de vida útil para estructuras.....	71
Tabla 8	Índice k de vulnerabilidad.....	107
Tabla 9	Determinación de la baja de PH.....	136
Tabla 10	Resultados del ensayo de adherencia.....	137
Tabla 11	Resultados de potencial de corrosión.....	139
Tabla 12	Valores referenciales de corrosión.....	139
Tabla 13	Matriz de solución.....	143

ÍNDICE DE FOTOS

Contenido:

Foto 1	Ruptura de columna de puente vial por corte.....	8
Foto 2	Corrosión de armaduras por cloruros en apoyo de un muelle.....	8
Foto 3	Intervención inadecuada en la cara inferior de la losa	8
Foto 4	Corrosión de armadura	12
Foto 5	Daños de estructuras de hormigón armado	21
Foto 6	Aserrado de una junta	30
Foto 7	Imagen de un corte delgado de hormigón.....	36
Foto 8	Pavimento deteriorado superficialmente	37
Foto 9	Rotura de la esquina de una losa.....	41
Foto 10	Aspecto de un hormigón atacado por ácidos	42
Foto 11	Expansión de hormigón causada por ataques de sulfatos	45
Foto 12	Hormigón atacado por agua de mar.....	46
Foto 13	Fundación del puente Paulo Guerra.....	47
Foto 14	Detalle de la misma fundación	47
Foto 15	Desgaste de un pavimento en zona fría.....	48
Foto 16	Muestra de eflorescencias generalizadas	49
Foto 17	Muestra de un proceso de lixiviación	50
Foto 18	Rotura de un tabique exterior de ladrillo.....	51
Foto 19	Edificio Ibarra	52
Foto 20	Vista exterior de daños.....	54
Foto 21	Fisuras en columnas y paredes	54
Foto 22	Falla en viga prefabricada postensada.....	56
Foto 23	Detalle zona de aplastamiento	56
Foto 24	Falla de junta de hormigonado.....	57
Foto 25	Procedimiento de reparación	57
Foto 26	Falla por mal posicionado de las armaduras.....	59
Foto 27	Grietas de flexión y corte.....	64
Foto 28	Extracción de núcleos	73
Foto 29	Ensayo esclerométrico	74

Foto 30	Determinación de profundidad de carbonatación	75
Foto 31	Detección de armaduras	76
Foto 32	Aplicación fenolftaleína	100
Foto 33	Disparos con esclerómetro.....	101
Foto 34	Medición potencial de corrosión.....	103
Foto 35	Ensayo Sattéc	104
Foto 36	Ensayo de ultrasonido.....	105
Foto 37	Medición de recubrimiento de hormigón	136
Foto 38	Muestra de sustrato.....	138
Foto 39	Medición de potencial de corrosión	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido:

Fig 1	Distribución relativa de la incidencia de las manifestaciones patológicas en estructuras de hormigón	9
Fig 2	Etapas de producción y uso de las obras civiles	10
Fig 3	Orígen de los problemas patológicos	11
Fig 4	Ley de evolución de los costos.....	13
Fig 5	Fallas típicas por corrosión de armadura	21
Fig 6	Representación esquemática del proceso electroquímico de corrosión de las armaduras en el hormigón	23
Fig 7	Fisuras típicas	26
Fig 8	Elemento de hormigón solicitado a compresión axial.....	27
Fig 9	Fisuras en elemento de sección variable	31
Fig 10	Temperatura de congelamiento para el agua ubicada en los poros de hormigón	34
Fig 11	Temperatura de congelamiento para el agua ubicada en los poros de hormigón.....	35
Fig 12	Deterioro progresivo del hormigón, por ciclos de congelamiento y deshielo	36
Fig 13	Diagrama tensión – deformación en función de la temperatura	39
Fig 14	Alteraciones producidas en la adherencia acero – hormigón afectados por el fuego.....	40
Fig 15	Asentamiento diferencial	52
Fig 16	Asentamiento diferencial y las sollicitaciones.....	54
Fig 17	Vista de soportes para mantener las armaduras en posición correcta ...	58
Fig 18	Fallas por mal posicionado de las armaduras	58
Fig 19	Armaduras pasivas con falla de diseño	60
Fig 20	Armaduras activas mal colocadas.....	60
Fig 21	Fallas por diseño inadecuado de los encofrados	61
Fig 22	Falla de corte en columna gruesa	65

Resumen

La intervención de las estructuras de hormigón armado se ha venido llevando a cabo con procedimientos que han ido evolucionando con el tiempo y con el avance de la técnica.

Los trabajos de evaluación de una estructura de hormigón se llevan a cabo generalmente para evaluar problemas en los elementos estructurales provenientes de un uso inadecuado, sobrecargas, condiciones de exposición, diseño inadecuado, prácticas defectuosas de construcción o mantenimientos mal realizados.

La evaluación y el diagnóstico de una estructura pretenden determinar su estado actual tanto desde el punto de vista mecánico como químico.

Después de definir exactamente el estado de los elementos estructurales, las causas y la magnitud del deterioro se establece el alcance de la reparación de tal forma que esto permita establecer la estrategia de rehabilitación más adecuada desde el punto de vista técnico-económico.

Si se sigue en forma estricta esta guía de evaluación de estructuras, se garantiza una proyección real del estado de los elementos, un correcto diagnóstico y una excelente estrategia de rehabilitación, para contribuir a la durabilidad y beneficio económico del uso de la edificación.

Introducción

Hoy en día el hormigón se encuentra como componente principal de casi todas las estructuras, desde la edificación más humilde hasta la gran obra de ingeniería; puentes, muelles, aeropuertos, industrias, edificaciones y viviendas, incluso algunas obras de patrimonio artístico mundial tienen como componente principal al hormigón.

Este desarrolla sus propiedades de resistencia mecánica y química con el tiempo, incluso luego de obtener a los 28 días un gran porcentaje de la resistencia final, está sigue aumentando leve pero indefinidamente con la edad de la estructura. El acero en cambio una vez elaborado mantiene sus características resistentes invariables siempre y cuando se mantenga en condiciones de uso óptimas.

Un puesto similar, se ha ganado el acero en la historia de la construcción. Las estructuras metálicas de gran uso aparecen por todas partes en la vivienda, obras de infraestructura e industria.

La afortunada combinación del hormigón y acero de refuerzo garantizó su éxito común y abrió una gran puerta para su uso extensivo desde el punto de vista técnico-económico.

Analizando estas características y propiedades, al material fruto de esta unión, conocido como hormigón reforzado se le debería pronosticar una larga vida a pesar incluso de su envejecimiento natural.

La realidad en nuestro país muestra un panorama completamente diferente. Cada vez es mayor el número de estructuras metálicas y de hormigón armado deteriorado o que presenten algún tipo de inconveniente ya sea estético o de servicio.

El grado de deterioro o daño de una estructura de hormigón define la urgencia de intervención y el alcance de la misma. En Latinoamérica, el mantenimiento preventivo de las estructuras empieza a colocarse en un lugar importante dentro del presupuesto de las empresas e industrias, donde una suspensión en la producción para reparar, significa pérdida de dinero. En los servicios públicos, una suspensión del suministro genera graves inconvenientes de orden público y social, además de pérdidas económicas.

A pesar de la labor que se realiza con los técnicos y empresas para informar el grave error que se comete al reparar una estructura sin conocer la magnitud del deterioro en la actualidad ya sea por desconocimiento o por falta de recursos se realizan trabajos inadecuados o que simplemente mejoran la estética y apariencia de la edificación. Además la falta de información y de centros tecnológicos, con el equipo adecuado y con profesionales entrenados en las labores de diagnóstico para llevar a cabo esta labor hace que la reparación se realice sin una planeación adecuada.

En este trabajo, el profesional puede encontrar algunas respuestas a sus preguntas sobre cómo elaborar un primer diagnóstico de los problemas; qué analizar para determinar una patología acertada, como interpretar resultados y algunos procedimientos correctos de reparación a los problemas más comunes encontrados en nuestro medio.

Solo resta por indicar que las reparaciones son en muchas ocasiones, intervenciones muy delicadas que necesitan de vigilancia y control de calidad continuo e imprescindible a fin de no tener sorpresas desagradables al tener que volver a reparar lo ya reparado.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

Desde inicios del descubrimiento del cemento, el hormigón ha demostrado ser el mejor material para la construcción de estructuras, superando con grandes ventajas otras alternativas como madera, acero, adobe, entre otras.

El empleo de este material en obras de arte, carreteras, presas y otras construcciones civiles son el mejor ejemplo que han resistido las más variadas sobrecargas y acciones del ambiente en el pasar del tiempo.

Sin embargo siendo el hormigón un material que pudiera ser considerado prácticamente eterno siempre que reciba un mantenimiento sistemático y programado hay construcciones que presentan manifestaciones patológicas muy notorias y significativas.

Algunos factores como el clima, contaminación ambiental, sismos, presencia de suelos agresivos, intensidad del viento, pueden afectar estructura interna.

El conocimiento actual de las acciones y mecanismos destructivos que actúan sobre las estructuras el desarrollo tecnológico en estos últimos años para crear equipos y procedimientos es posible diagnosticar la mayoría de los problemas patológicos que se presenten.

Para obtener éxito en las terapias de reparación, refuerzo o protección es necesario que no sólo el diagnóstico haya sido bien definido sino, que se conozca muy bien las ventajas y las desventajas de materiales y sistemas de rehabilitación de estructuras de hormigón. Un diagnóstico adecuado y completo será aquel que especifique todos los aspectos del problema.

En general los problemas patológicos presentan síntomas o manifestaciones externas comunes, a partir de las cuales se puede deducir cuál es la naturaleza y

origen, además los causantes involucrados. Además podemos estimar sus probables consecuencias. Las lesiones, daños, defectos o manifestaciones patológicas, pueden ser descritos y clasificados en un primer diagnóstico, a partir de observaciones visuales durante la primera etapa de evaluación.

Por tanto este trabajo, presenta una guía de evaluación de las estructuras de hormigón armado y su diagnóstico a partir de su correspondiente manifestación típica. Los profesionales podrán contar con lineamientos claros y precisos que contribuyen a realizar un trabajo profesional que garantice la funcionalidad y vida útil de la estructura intervenida.

1.1 EL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

El objeto de estudio de esta investigación está relacionado con el desarrollo de una guía de evaluación, que es un instrumento oportuno en una época en la que los técnicos procuran mejorar la sustentabilidad de las construcciones, lo cual pasa obligatoriamente por aumentar la vida útil y la durabilidad de estas. Además busca facilitar la toma de decisión, al permitir el análisis previo a la ejecución de proyectos, indicando sus posibles consecuencias.

La guía cubre temas importantes para el constructor que tiene a su cargo reparar o rehabilitar una estructura de hormigón. Este tema es actualmente de gran trascendencia, pues las labores de reparación y mantenimiento presentan mucha complejidad a la hora de escoger el mejor sistema o material. Adicionalmente contribuye a que los profesionales tomen consciencia de que una buena rehabilitación es un proceso que no tiene otra misión que extender la vida útil y que empieza con buen diagnóstico que esclarezca los síntomas, el origen las manifestaciones; para determinar la mejor estrategia de reparación.

Con un adecuado criterio se puede escoger los materiales con una excelente relación costo-beneficio que contribuya a optimizar costos de ejecución.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El hormigón es un material sin el cual sería difícil imaginarse la construcción actual. La afortunada combinación del hormigón y el acero de refuerzo garantizaron su éxito común y abrió una gran puerta para su uso extensivo desde el punto de vista técnico-económico.

Desafortunadamente contrario a lo que se pensó inicialmente las estructuras de hormigón armado, con el paso del tiempo y aumento de la contaminación ambiental se han convertido en un material susceptible de deterioro.

Hoy en día se sabe a ciencia cierta que el hormigón armado es un material que sufre deterioros o degradaciones y no es eterno como se pensó en un principio.

Los deterioros en las estructuras de hormigón, metálicas o combinadas, tienen su origen en enfermedades congénitas o adquiridas durante su vida útil. Estas enfermedades afectan la funcionalidad, estabilidad y estética de las estructuras, llegando éstas, en ocasiones a no cumplir los fines para los que fueron diseñadas. Estos daños y deterioros que afectan a las estructuras nos obligan a intervenirlas con el fin de garantizar su funcionalidad y seguridad durante su vida útil o de servicio. Con la evaluación podemos pronosticar la naturaleza de la enfermedad o patología de la estructura, la cual puede ser causada por una o varias acciones y que se manifiestan a través de síntomas o consecuencias que es de donde partiremos al momento de evaluarlas.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El desarrollo de una guía 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?

1.4 SISTEMATIZACIÓN

Dentro del problema encontramos las 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?

1.5 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO

1.5.1 Objetivo General

- Elaborar una guía de evaluación de estructuras de Hormigón para los profesionales y organismos de Ingeniería Civil así como los procedimientos e interpretación de resultados de los ensayos requeridos durante el diagnóstico, previo a la reparación y rehabilitación de la estructura.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar los daños provocados por dichas acciones sobre las estructuras y la incidencia de la edad ante estas acciones.
- Verificar los procedimientos adecuados de los ensayos aplicables a la patología del hormigón e interpretar correctamente los resultados.
- Determinar con exactitud la patología de las estructuras con la finalidad de especificar el método adecuado de intervención.
- Elaborar la guía de evaluación de estructuras y los procedimientos de los ensayos no destructivos usados.

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1 Justificación Teórica

¹“Consideran que una estructura de hormigón armado forma una parte importante de una infraestructura. Los edificios, losas, vigas, puentes, pilares, tanques y tuberías son estructuras que se pueden realizar con hormigón armado”.

Según² dice que tradicionalmente los factores estructurales y no estructurales que afectan la practicidad de los edificios se han tratado de forma separada. Por lo que es necesario tomar en cuenta que toda la estructura está expuesta a un ambiente que puede tener una enorme influencia en la durabilidad. Considera que normalmente la interacción entre el material de la estructura y el ambiente se llama corrosión”.

Como señala³ el problema surge por la falta de sensibilidad y conocimiento cuando una estructura se ve afectada, lo que afecta en el mantenimiento de edificios ya construidos y que en ciertos casos ha contribuido al colapso de algunos de ellas”.

Es por eso que esta investigación tendrá utilidad teórica porque recurrirá a fuentes de laboratorio con la finalidad de identificar la mejor metodología para resolver el problema.

1.6.2 Justificación Práctica

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.

¹Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E 2008

²Garcés, P. 2008:7

³Garcés, P. 2008

1.6.3 Justificación Relevancia Social

El trabajo de investigación contribuirá a la sociedad de ingeniería civil y arquitectura como un documento de apoyo cuando se requiera investigar el estado actual de estructuras, las cuales proporcionan resultados importantes para determinar de forma técnica y económica la mejor alternativa de intervención y reparación.

Con este instrumento se busca promover el uso eficiente de técnicas de evaluación que sean viables y que estén acordes a la realidad de cada edificación examinada, sin afectar su entorno físico como ambiental, ni tampoco que promuevan acciones destructivas que comprometan la estructura de otras construcciones y de esta manera contribuir al desarrollo sustentable.

1.7 HIPÓTESIS O IDEA A DEFENDER

1.7.1 Hipótesis o idea a defender

La elaboración 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 de ensayos no destructivos, previo a la rehabilitación y reforzamiento de cualquier edificación.

CAPITULO II

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. 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 Terapia 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.

En los ejemplos presentados en las fotos 1, 2 se puede evidenciar algunos daños presentados en las estructuras y procedimientos inadecuados de reparación.

En la foto 3 se aprecia un ejemplo de un sistema de reparación inadecuado que complica más el estado de la losa.

Foto 1. Ruptura de columna de puente vial por corte debido a empuje ocasionado por deslizamiento de tierra (Manizales, Colombia)



Fuente: Paulo Helene

Foto 2. Corrosión de armaduras por cloruros en apoyo de un muelle de concreto en zona marítima (Buenaventura, Colombia)



Fuente: Paulo Helene

Foto 3. Intervención inadecuada, en la cara inferior de losa, agravando aún más el problema inicial en un Colector de Aguas Servidas y Pluviales (Montevideo, Uruguay).



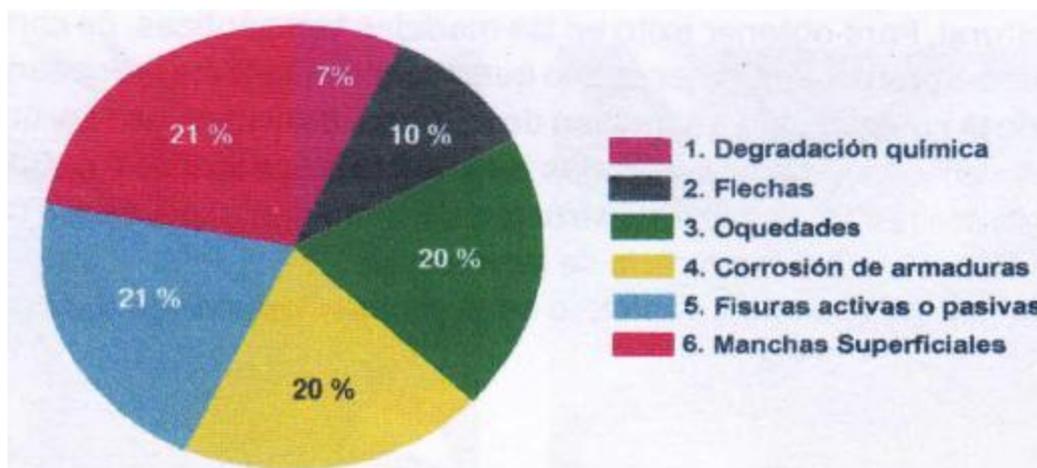
Fuente: Paulo Helene

2.1.1.1 Síntomas

En general casi todas las estructuras presentan daños externos, es muy raro que no desarrollen síntomas que no se los puede apreciar visualmente, por tanto a partir de estas observaciones se puede describir las posibles causas que permiten obtener un pre-diagnóstico del problema.

En la Fig. 1, se puede apreciar como las Manchas Superficiales y las Fisuras activas o pasivas tienen la mayor presencia de los daños sobre un hormigón arquitectónico, sin embargo desde el punto de vista estructural la Degradación química puede ser la más grave y costosa al momento de reparar.

Figura 1. Distribución relativa de la incidencia de las manifestaciones patológicas en estructuras de hormigón arquitectónico.



Fuente: Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe (2009). Guía de infraestructura: Instrumento de gestión ambiental. San José, Costa Rica.

2.1.1.2 Mecanismo

Todos los daños o manifestaciones patológicas se generan a través de un mecanismo, un ejemplo de este mecanismo en la corrosión de armaduras son los cloruros que puedan contener el hormigón producto del agua de mar usada en el amasado, lo que puede acelerar el proceso electroquímico en las armaduras. Este ejemplo nos indica lo importante de conocer el mecanismo actuante que genera el daño, con el fin de obtener una terapia adecuada.

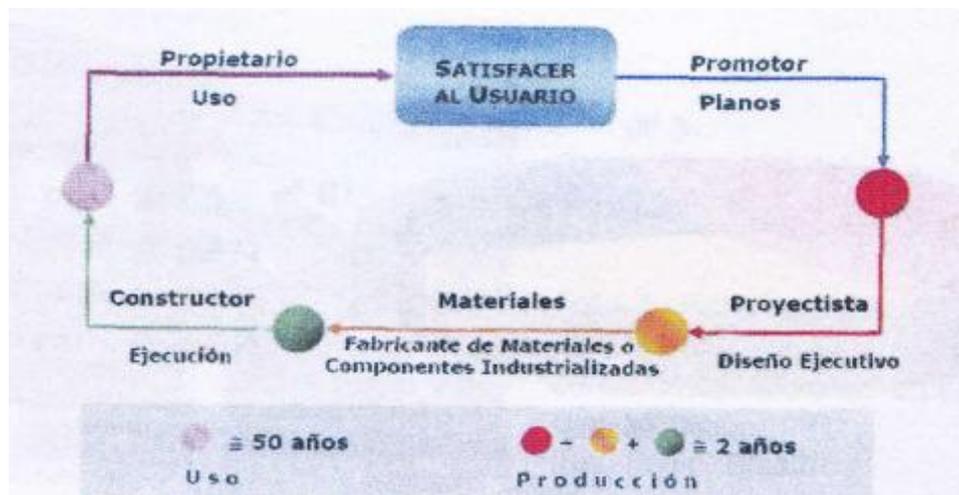
2.1.1.3 Origen

La construcción de las edificaciones desde su concepción hasta su funcionamiento cumple las etapas conforme se presenta en la Fig. 2.

- a) Planeamiento
- b) Proyecto o diseño
- c) Fabricación de Materiales
- d) Ejecución
- e) Usos

Las cuatro primeras etapas regularmente se desarrollan en un lapso corto no mayor a dos años, mientras que la etapa cinco es donde se desarrolla la mayoría de manifestaciones de acuerdo al tiempo de vida útil proyectado, que puede ser 50, 100 y hasta 200 años como en el caso de obras de emergencia y presas.

Figura 2. Etapas de producción y uso de las obras civiles

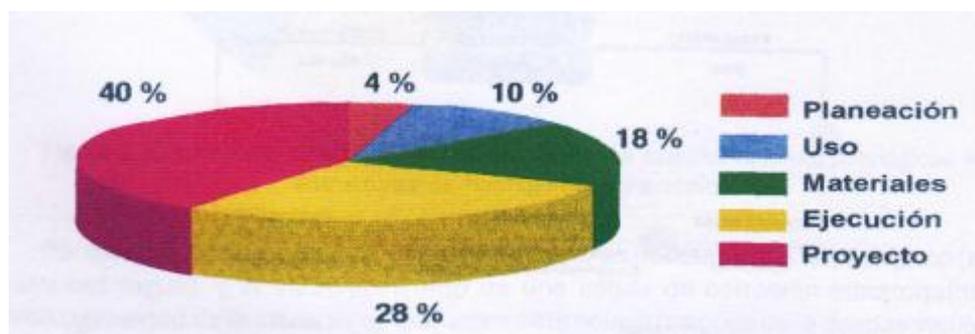


Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

En caso de algún litigio legal por la responsabilidad del daño de una estructura es mandatorio identificar el origen, de esta manera se puede determinar si falló el diseñador, el constructor, la calidad del material no fue la especificada, el constructor omitió algún proceso constructivo o simplemente el usuario destino la estructura para un uso diferente al que fue diseñado.

La Fig. 3 evidencia que los errores más frecuentes se presentan en etapa de planeamiento y ejecución y que son mucho más frecuentes que problemas de materiales por ejemplo, por tanto es conveniente destinar más tiempo en las etapas iniciales del proyecto.

Figura 3. Origen de los problemas patológicos con relación a las etapas de producción y uso de las obras civiles



Fuente: Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe (2009). Guía de infraestructura: Instrumento de gestión ambiental. San José, Costa Rica.

2.1.1.4 Causas

Existen varios agentes que pueden causar manifestaciones sobre la estructura: humedad, temperatura, cargas, contaminación biológica, movimientos, entre otros que se describirá más adelante cada una de ellas.

“⁴En el caso de una fisura en viga por la acción de momentos flectores, el agente causante es la carga - si no hubiera carga, no habría fisura - cualquiera que fuera el origen del problema. En el caso de fisuras verticales en vigas pueden ser los agentes causantes tanto las variaciones de humedad - retracción hidráulica por falta de curado - como gradientes térmicos resultantes del calor de hidratación del cemento, o movimientos térmicos resultantes de variaciones diarias y anuales de la temperatura ambiente. Evidentemente, a cada causa corresponderá una terapia más adecuada y más duradera”.

2.1.1.5 Consecuencias y oportunidad de la intervención

Las principales técnicas empleadas en la reparación o refuerzo de estructuras de hormigón armado, son:

- Los recrecidos basados en hormigón de cemento portland o de hormigones modificados con polímeros.

⁴ http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

- La utilización de estructuras metálicas adicionales formadas por perfiles laminados, tanto en vigas como en pilares.
- El pretensado parcial o total de elementos.
- La utilización de bandas de acero o de fibra de carbono-vidrio, encoladas con una resina epoxi.

Todas las técnicas descritas necesitan de un estudio previo, tanto de la calidad de los materiales como de la compatibilidad con el sustrato. Por suerte hoy estas técnicas de reparación y especialmente los materiales a utilizar han experimentado un avance extraordinario.

Generalmente se acostumbra a separar las consideraciones en dos tipos: las que afectan las condiciones de seguridad de la estructura y las que componen las condiciones de higiene, estética, etc., o sea, las denominadas condiciones de servicio y funcionamiento de la edificación.

Por lo regular los daños van incrementándose con el tiempo y comúnmente presentan otros problemas asociados al daño inicial. Por ejemplo: una fisura de momento flector puede dar origen a la corrosión de las armaduras ya sea por presencia de humedad o simplemente por acción del oxígeno del aire. (Ver foto 4).

Foto 4. Corrosión de armadura



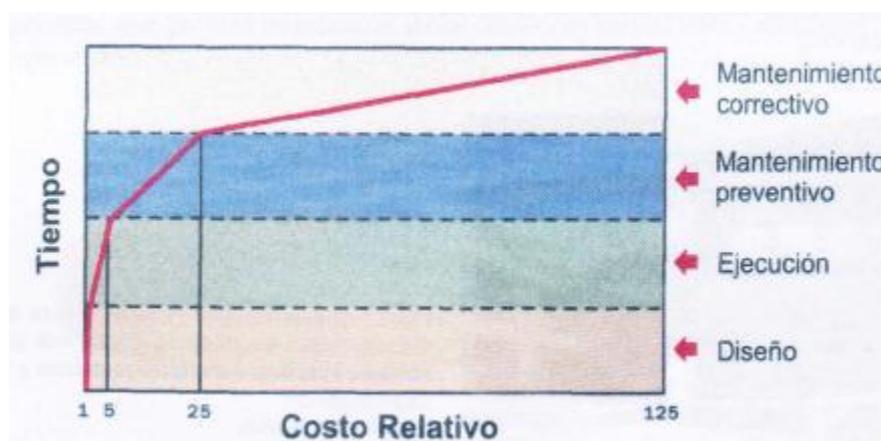
Fuente: Paulo Helene

Es conveniente mencionar que las reparaciones son más efectivas y durables mientras más rápido se intervenga, puesto que evitaremos el apareamiento y posterior intervención de problemas asociados al daño principal.

⁵“La llamada "Ley de Sitter" que prevé los costos crecientes según una progresión geométrica dice: Dividiendo las etapas constructivas y de uso en cuatro períodos, correspondientes al de diseño, al de ejecución propiamente dicha, al del mantenimiento preventivo efectuado antes de los cinco primeros años, y al del mantenimiento correctivo efectuado posterior al surgimiento de los problemas, a cada uno corresponderá un costo que sigue una progresión geométrica de razón cinco”.

Esta Ley se presenta en la Fig. 4.

Figura 4. Ley de evolución de los costos, ley de De Sitter
(De Sitter, 1984 CEB RILEM)



Fuente: Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe (2009). Guía de infraestructura: Instrumento de gestión ambiental. San José, Costa Rica.

A continuación una breve interpretación de cada una de las etapas presentadas en esta Ley:

a.- Proyecto: Dentro de esta etapa podemos agrupar todos los costos asociados a las medidas tomadas en el diseño con el objeto de aumentar la protección y durabilidad de la estructura. Un ejemplo de esto puede ser el especificar aditivos

⁵ http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

inhibidores de corrosión o reductores de agua, que permitan disminuir la permeabilidad del hormigón.

b.- Ejecución: Los costos asociados a medidas tomadas durante la ejecución o construcción misma implica un costo 5 (cinco) veces superior al costo que se hubiese ocasionado si esta medida hubiera sido tomada en el ámbito de diseño. Un ejemplo de esta etapa puede ser el uso de recubrimientos protectores para la estructura de hormigón que impidan el ingreso de cloruros y darle la misma protección que los aditivos usados en la etapa de proyección.

c.- Mantenimiento preventivo: Dentro de la etapa de funcionalidad de la estructura, cualquier medida tomada como mantenimiento y prevención , durante el periodo de uso de la estructura, sus costos son 5 (cinco) veces menor que aquella reparación no prevista y realizada ante un daño irreversible. Así mismo su costo es 25 (veinticinco) veces superior a aquel que habría ocasionado una medida tomada en la etapa de diseño.

Como ejemplo podemos citar el uso de pinturas decorativas y resistentes al ataque del CO₂, que si bien disminuyen el riesgo de carbonatación en el hormigón sus costos son mucho más grandes que el uso de reductores de agua de alto poder en la mezcla de hormigón y un correcto curado que evite el ingreso de estos gases.

d.- Mantenimiento correctivo: En esta etapa se recoge todos los costos derivados del diagnóstico y reparación misma de la estructura, que representa 125 (ciento veinticinco) veces superior al costo de las pudieron tomarse en la etapa de proyecto para garantizar la misma protección.

La aplicación de láminas FRP carbono o vidrio reforzada con polímeros sobre la losa o columnas como medida de reforzamiento por la pérdida de sección de la armadura de refuerzo atacada por corrosión es un ejemplo de esta etapa, en la que los costos de recuperación de secciones y aplicación de láminas son bastante elevados respecto a acciones o especificaciones realizadas en la etapa de proyecto.

Todos estos trabajos de reparaciones deben tener un plan de mantenimiento adecuado para evitar que estos daños aparezcan y se propaguen por el resto de elementos de la edificación.

2.1.2 Proyecto o diseño detallado de la intervención

De la misma manera como se realiza un proyecto para la construcción de una edificación así se debe realizar el diseño detallado de la intervención.

6 Introducción

Servicios

a) Reparaciones localizadas

- Localización y definición de las áreas para muestreo
- Escarificación del hormigón y delimitación con disco de corte
- Limpieza de las armaduras
- Reconstrucción de la sección de la estructura

b) Reparación superficial

- Preparación del sustrato
- Acabado de la reparación
- Curado

c) Reparación profunda

- Encofrado
- Saturación del sustrato
- Reconstrucción de la sección
- Desmolde, retirada del encofrado y terminación de la reparación
- Curado

Materiales de Reparación y Sistemas de Protección

a) Mortero de Reparación

- Especificaciones técnicas
- Control de recepción
- Acopio
- Cuidados en el manejo, mezcla y preparación

b) Grout

⁶ http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

- Especificaciones técnicas
- Control de recepción
- Acopio
- Cuidados en el manejo, mezcla y preparación

Equipos

- Disco de corte para hormigón
- Demoledor mecánico
- Chorro de agua
- Chorro de agua con arena
- Chorro de aire
- Pulverizador de agua
- Mezclador de mortero
- Mezclador de grouts
- Pulverizador para hidrofugante

Mano de Obra

- Ingeniero
- Encargado General
- Encargado de los servicios
- Encargado de la escarificación y preparación del sustrato
- Encargado de la terminación de la reparación
- Encargado del tratamiento superficial
- Encargado de la aplicación del sistema de protección
- Encargado de los procedimientos especiales
- Técnico
- Demás profesionales

Licitación

- Planilla de cuantificación de los servicios
- Elementos para la licitación

2.1.3 Acciones y mecanismos de deterioro de las estructuras

Las acciones actuantes sobre las estructuras deben considerarse en su diseño debido a que pueden afectar la resistencia de los elementos seguido de disminución de durabilidad y tiempo de servicio.

Las acciones pueden ser de origen externo (E) o interno (I) a la estructura, y pueden generar fenómenos de tipo físico (F), químico (Q), mecánico (M) o biológico (B) que pueden afectar o limitar una o más de las condiciones del comportamiento establecidas en el proyecto.

Las acciones tienen su clasificación de acuerdo a su origen y las detallamos a continuación:

a) Acciones externas - funcionales

Son consecuencia del uso de la estructura y tiene que ver con las cargas equivalentes que actúan durante su existencia. Conforme el apareamiento de estas acciones a través del tiempo podemos dividir a las cargas como estáticas (aquellas que no afectan el comportamiento de la estructura por su variación lenta e imprescindible) y dinámicas que dependiendo de su variación puede afectar el comportamiento de la estructura.

Las cargas estáticas a su vez pueden ser:

a) Estática Constante: aquella carga que actúa durante toda la vida útil de la estructura.

b) Estática Variable: son aquellas cargas que pueden estar o no presentes en la estructura pero siempre actúan en el mismo punto.

c) Estática Móvil: son cargas que pueden o no actuar sobre la estructura, pero nunca actúan sobre el mismo punto.

Las cargas dinámicas pueden ser:

a) Dinámica Periódica: son aquellas cargas cuya acción es repetitiva en tiempo e intensidad.

b) Dinámica No Periódica: son contrarias a las periódicas.

c) Dinámica Instantánea: son aquellas cargas que actúan de forma repentina y esporádica.

Los efectos generados por cualquiera de estas acciones se conocen como fenómenos mecánicos, que generan tensiones y deformaciones de diversos tipos y que en la mayoría de los casos actúan asociados a otros fenómenos de carácter físico, químico y biológico.

La combinación con otro tipo de fenómenos podría ser:

- **Físico**, es aquel producido por acciones o cargas estáticas móviles o variables.
- **Químico**, es aquel producido por agentes químicos sólidos o líquidos que contengan concentración de ácidos o sustancias causticas.
- **Biológico**, es aquel producido por agentes biológicos desarrollados en líquidos que contengan materia orgánica en descomposición.

b) Acciones externas –ambientales

Las acciones ambientales sobre las estructuras de hormigón están relacionadas con el entorno y su interacción con el medio circundante sólido, líquido o gaseoso. Puede ser equivalente a una carga estática (el empuje del suelo) o una carga dinámica como el viento.

A continuación los siguientes ejemplos de acciones externas ambientales:

- **Físicos:** variación de temperatura, de humedad, ciclos de congelamiento y deshielo, etc.
- **Químicos:** Carbonatación, lluvia acida, corrosión, ataque de ácidos, aguas blandas, residuos industriales, fuego, reacción álcali-sílice.
- **Biológico:** Microorganismos, algas, suelos y/o aguas contaminados, etc.

Durante la ejecución o construcción se pueden generar acciones no previstas ni especificadas en la etapa de diseño que son consecuencia de errores constructivos o mano de obra no calificada (por ejemplo la remoción prematura de puntales) pero además pueden surgir acciones ambientales no contempladas y accidentales (como un tornado) que generan fallas que no responden a la respuesta de la estructura terminada y que definitivamente en muchos casos la incidencia será nula en la estructura una vez concluida.

c) Acciones internas – intrínsecas

Son cambios volumétricos que se manifiestan dependiendo del tipo de hormigón utilizado, la cantidad de cemento, el tipo de cemento, cantidad de aire incorporado, relación a/c (agua-cemento) y procesos de curado y protección al viento, los que de acuerdo a las restricciones internas o externas se traducen en esfuerzos o tensiones. Estas manifestaciones son:

- Asentamiento plástico
- Contracción plástica
- Contracción térmica inicial
- Contracción por secado
- Reacción álcali-sílice (agregado)

d) Acciones internas – inducidas

En algunos casos las deformaciones aparecen como consecuencia del comportamiento reológico del hormigón que aumenta su deformación en el tiempo bajo carga constante y que en el caso de las estructuras de hormigón armado

adquiere especial importancia como conjunto estructural y como material compuesto.

2.1.4. Consideraciones generales

Existe muchas acciones, que por su baja probabilidad de ocurrencia no se tiene en cuenta en las verificaciones de los estados últimos, estas las agrupamos y llamamos accidentales o extraordinarias, estas dependiendo de su magnitud pueden ocasionar graves daños a la estructura e incluso el colapso. Generalmente obedecen a causas naturales por lo que se las considera como acciones ambientales.

En cambio interesa analizar a profundidad a los fenómenos asociados a las acciones de mayor probabilidad, cargas permanentes, sobrecargas, acción del viento, sismo que en algunos códigos ya se encuentran calculados para cada país o región.

Con el fin de facilitar la comprensión del problema patológico y consecuentemente adoptar la solución apropiada, agruparemos los fenómenos típicos de acuerdo al origen de la acción.

Dichos fenómenos son:

- Corrosión de armaduras.
- Acción de las cargas exteriores.
- Procesos mecánicos.
- Acción de los cambios de humedad y temperatura.
- Acciones que generan desintegración del hormigón.
- Acciones inducidas.
- Fallas típicas del proceso constructivo

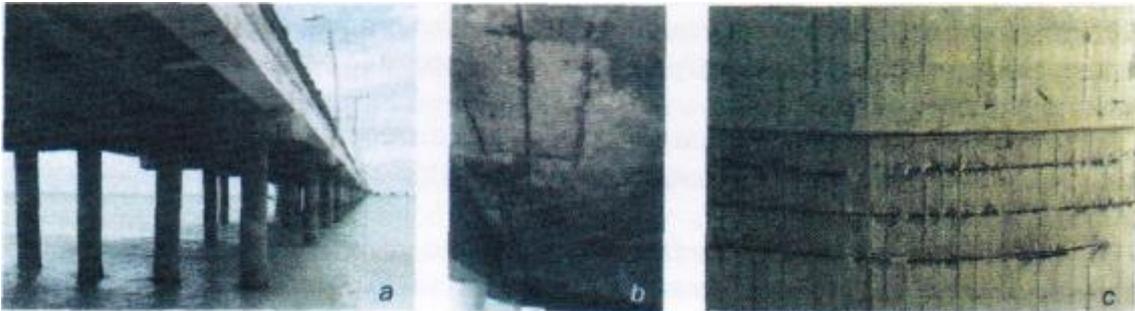
2.1.4.1. Corrosión de armaduras

Se define como un proceso electroquímico que provoca la oxidación del acero en el hormigón. Los factores que afectan a este fenómeno están asociados a las características del hormigón, al medio ambiente y a la disposición de las armaduras en los elementos estructurales afectados.

Los daños por corrosión de armaduras generalmente se manifiestan a través de fisuras en el hormigón paralelas a la dirección de los refuerzos con la consecuente delaminación del acero y/o desprendimientos del recubrimiento.

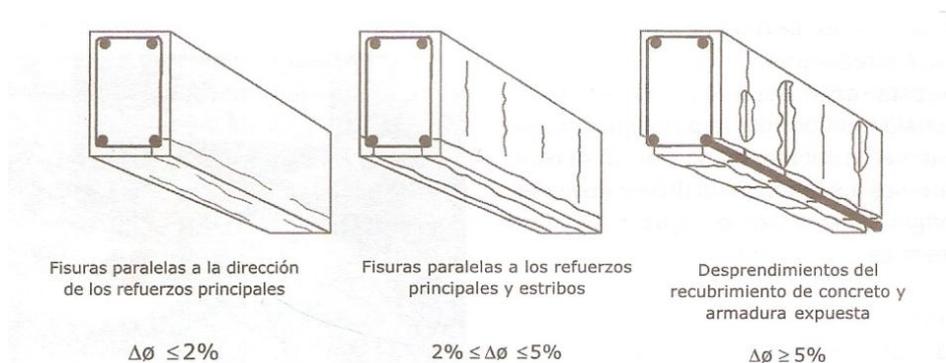
En la Foto 5 se presentan distintos casos de estructuras afectadas por corrosión de armaduras.

Foto 5. a) Daños en estructuras de hormigón armado causados por corrosión, y b) Corrosión por cloruros en muelle, c) Corrosión por carbonatación en planta petrolera



Fuente: Raúl Husni

Figura 5. Fallas típicas por corrosión de armaduras



Fuente: Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España.

En la Fig. 5 se muestran en forma esquemática las fallas típicas observadas en vigas afectadas por distintos niveles de deterioro por corrosión de armaduras, además valores estimativos de disminución de sección transversal de armaduras que de acuerdo al gráfico nos resulta muy fácil comparar con otros elementos que presenten corrosión.

La disminución de sección transversal del acero de refuerzo producto de la corrosión contribuye a la pérdida de adherencia, fisuración y desprendimiento del recubrimiento, fenómenos que pueden afectar la capacidad portante y estabilidad de los elementos estructurales afectados.

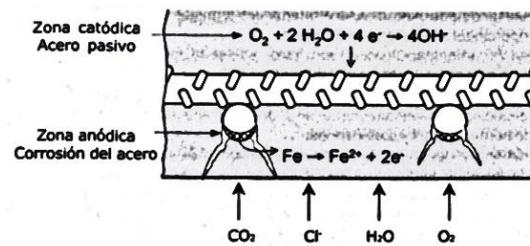
El proceso de corrosión

El fenómeno se observa con frecuencia en hormigones de baja calidad, elaborados con altas relaciones agua - cemento y por consiguiente que presentan elevada porosidad. La elevada alcalinidad que presenta la solución de los poros del hormigón ($\text{pH} > 12,5$) le provee al acero de un medio protector en el cual su velocidad de corrosión (VC) es prácticamente nula. Esta condición se denomina pasividad, cuando los valores de VC de las armaduras sean inferiores a 0,1 m/año. El estado pasivo de las armaduras puede perderse debido al ataque por cloruros y pérdida de la alcalinidad en el hormigón.

⁷ “Todo proceso de corrosión electroquímico requiere de la presencia de al menos cuatro elementos, a) un ánodo, donde ocurre la oxidación del acero, b) un cátodo, donde ocurre la reacción de reducción, c) un conductor eléctrico por donde circulan los electrones liberados en el ánodo y consumidos en el cátodo y d) un electrolito, donde ocurren dichas reacciones. En la Fig. 6 se representa esquemáticamente el proceso de corrosión de armaduras en el hormigón”.

⁷ http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

Figura 6. Representación esquemática del proceso electroquímico de corrosión de las armaduras en el hormigón



Fuente: Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España.

El tiempo de aparición de fisuras depende principalmente de la calidad del hormigón y su espesor de recubrimiento, así como del diámetro y la ubicación de la armadura.

2.1.4.2. Ataque por cloruros

Algunas de los posibles agentes de ingreso de los iones cloruros al interior del hormigón puede deberse a la interacción con el medio ambiente, al empleo de sales para el deshielo de la superficie o a la utilización de aditivos y/o agregado que contengan este tipo de iones durante la elaboración del hormigón.

La concentración crítica (C_c) de iones cloruro en contacto con la superficie de la armadura provoca la despasivación del acero y la corrosión localizada de éste.

El valor de C_c depende de factores como: el pH del hormigón, el contenido de aluminato tricálcico (C3A) en el cemento y el contenido de humedad en el hormigón, el valor medio considerado como aporte estos factores es $C_c=0,4\%$ en peso respecto a la cantidad de cemento usado en la fabricación del hormigón.

2.1.4.3. Pérdida de alcalinidad en el concreto

El hormigón es un elemento cuyo PH regularmente es superior a 12, cuando dentro de su etapa de funcionalidad y debido a humedad presente en la superficie se produce la lixiviación de las sustancias alcalinas de sus poros o se evidencia un fenómeno de carbonatación debido a la contaminación ambiental es evidente

encontrar una disminución del pH en el hormigón ($\text{pH} < 9$), que provoca la pérdida de la pasividad del acero. La carbonatación ocurre como resultado de la reacción química entre el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y otros álcalis (Sodio y Potasio) presentes en la solución de los poros con el dióxido de carbono (**CO₂**) de la atmósfera.

Esta reacción produce carbonato de calcio (CaCO_3) que lleva al hormigón a un proceso de acidificación.

La velocidad de avance del proceso de carbonatación va de la mano con el tiempo (la velocidad de avance al interior es proporcional a $t^{1/2}$, siendo t el tiempo), la baja calidad de los hormigones y con la humedad relativa del ambiente. Valores de humedad relativa entre 50 y 70% son propicios para este proceso.

En el acero de alta resistencia utilizado en las estructuras de hormigón post y pretensadas el proceso de corrosión es eventual y muchas veces difícil de identificar, se caracteriza por ser localizado y regularmente no genera pérdidas de sección en la armadura. A este tipo de corrosión se la denomina CBT (Corrosión bajo Tensión).

La CBT es muy agresiva, se presenta con fisuras que se propagan rápidamente y que pueden llevar al colapso de los elementos al provocar una rotura de tipo frágil del material. Por tanto los elementos construidos con hormigones de baja calidad (que presenten $\text{PH} < 12$), con aditivos o adiciones que aporten iones cloruros o estén expuestos a ambientes agresivos son propensos a este tipo de corrosión.

2.1.5. Acción de las cargas exteriores, procesos mecánicos

La acción de las cargas exteriores sobre una estructura se la denomina sollicitaciones. Podemos tener sollicitaciones simples como las de tracción, de compresión, de flexión, de corte y de torsión o sollicitaciones combinadas que no son más que la interacción entre ellas.

Volvemos a recalcar que si existe alguna deficiencia en una estructura de hormigón armado, ésta se manifestará casi siempre a través de una configuración de fisuras que dependerá del tipo de sollicitación que actúe en ese sector.

Estas deficiencias pueden tener su origen en la etapa de diseño, construcción o uso conforme detallamos:

⁸Errores de diseño:

- Omisión de algún estado de carga.
- Subevaluación de las acciones de las cargas.
- Deficiencia en la combinación de los estados de carga.

Errores de ejecución:

- Cargas prematuras sobre la estructura.
- Cargas no previstas en el diseño.
- Deficiencias en el transporte y/o montaje de elementos pre moldeados.

Errores de utilización:

- Cargas no previstas o superiores a las de diseño.
- Cambios de uso que implican sobrecargas mayores.
- Maquinarias o instalaciones que generan cargas dinámicas no previstas.

Más adelante analizaremos la configuración de fisuras como uno de los síntomas más comunes que depende de su localización, forma, trayectoria, evolución en el tiempo, que sean activas o pasivas (es decir que tengan o no movimiento) que en buena parte nos dará una base para continuar la diagnosis. Las fisuras pueden tener su origen en acciones de tipo mecánico (tracción, cortante-torsión, flexión, compresión); en acciones de tipo químico (ataque por ácidos, reacción árido-álcali, ataque por sulfatos, etc.); en acciones de tipo electroquímico (corrosión de armaduras); en acciones de tipo físico (contracciones y dilataciones térmicas, heladas, fuego, cristalización interna de sales, etc.); en acciones de tipo reológico (retracción plástica o de secado, etc.).

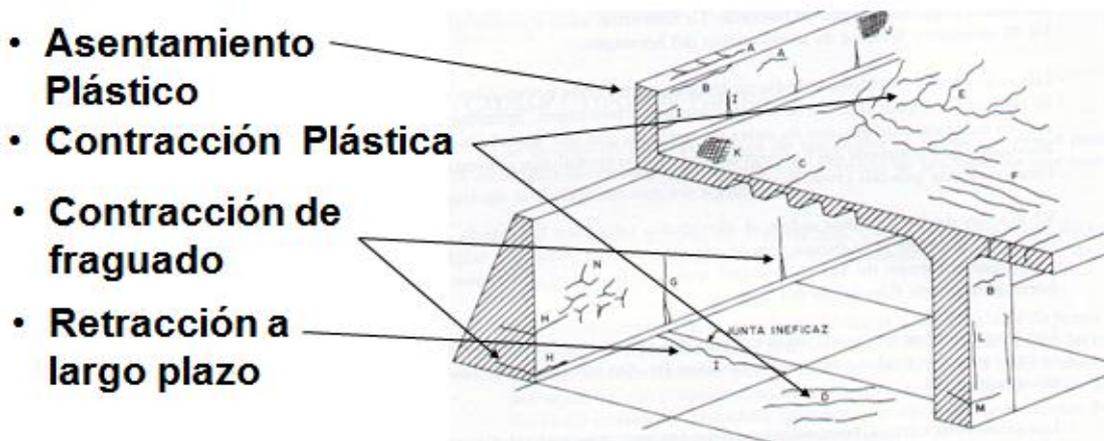
Un elemento sumamente valioso a la hora de establecer el diagnóstico y la evaluación del estado funcional y de seguridad de una estructura es el diseño de

⁸ http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

la misma. Este puede aportar muchos datos de gran interés y simplificar mucho la etapa de análisis, especialmente en la parte de materiales y de cálculo.

Generalmente las fisuras se encuentran catalogadas y con la ayuda del catálogo se puede tener una idea bastante acertada de su posible origen (Fig. 7).

Figura 7. Fisuras típicas



Fuente: Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España.

2.1.5.1. Tracción axial

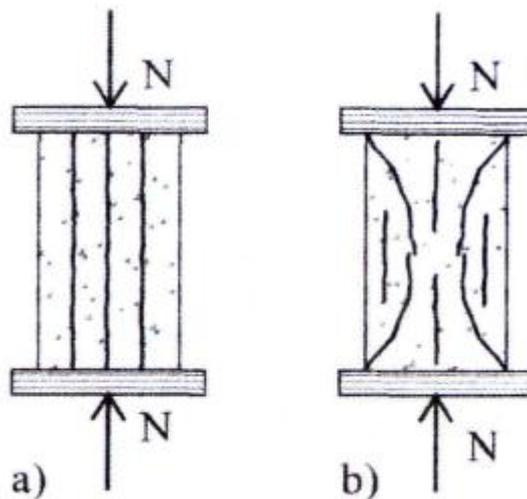
Generalmente su origen es poco frecuente en elementos de hormigón armado y puede originar fisuras de configuración perpendicular a las armaduras principales que atraviesan toda la sección y suele localizarse en coincidencia con la armadura transversal, como los estribos.

El hormigón posee un excelente comportamiento mecánico cuando está solicitado a compresión, pero es débil en sollicitaciones de tracción. Regularmente la resistencia del hormigón a tracción es pequeña y por el orden de un 10% de su resistencia a compresión por esta razón generalmente la tracción es despreciada en los cálculos de diseño.

2.1.5.2. Compresión axial

En los elementos de construcción sometidos a compresión axial, la forma de fisuramiento depende de su esbeltez y de la acción transversal que exista en sus extremos, de no existir dicha acción la forma de la fisura es la que se indica en la Fig. 8 a). Pero como por ejemplo en el caso de laboratorio donde la acción de rozamiento entre los platos de retención de la prensa y la probeta de hormigón la forma de las fisuras que se generan son diferentes y aleatorias conforme se muestra en la Fig. 8 (b).

Figura 8 Elemento de hormigón solicitado a compresión axial



Fuente: Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España.

Para el caso de columnas de sección circular que usan zunchos en espiral como armadura, primero se desprende el recubrimiento más el elemento puede seguir resistiendo aunque se genere grandes deformaciones. Es por esto que en general las columnas de hormigón tienen escasa capacidad de aviso y consecuentemente presentan una rotura de tipo frágil.

Las cargas de compresión concentradas, como por ejemplo la introducción de la carga de una columna en una base, puede generar fisuras de tracción de dirección paralela a los esfuerzos de compresión.

2.1.5.3. Flexión y corte

Las fisuras generadas por flexión son las más frecuentes y conocidas. Pueden aparecer por una sollicitación de flexión pura o por una combinación de flexión y corte.

La magnitud de estas acciones contribuye a la posición e inclinación de las fisuras. Este fisuramiento se puede minimizar con la correcta disposición y cantidad de armadura de corte necesaria para aumentar la ductilidad del elemento.

Las características principales de las fisuras generadas por son las siguientes:

- Aparecen en cierta cantidad y bastante cerca entre ellas, especialmente si el acero utilizado es de alta adherencia.
- Las fisuras tienden a desaparecer cuando se retiran las cargas que las generan.
- Son perpendiculares al eje del elemento y se inclinan en función del valor del esfuerzo de corte.

El punzonamiento es un esfuerzo con cierta similitud con el de corte, propio de los elementos lineales. A diferencia de la sollicitación por corte, se genera en una estructura superficial, plana, por introducción de una carga concentrada perpendicular a su plano medio como en las losas de cimentación donde el efecto del punzonamiento genera fisuras que no afectan toda la altura del elemento sino que llega solo hasta el eje neutro.

Las características principales de las fisuras por punzonamiento son:

- Aparecen en cierta cantidad y bastante cerca entre ellas, especialmente si el acero utilizado es de alta adherencia.
- Las fisuras tienden a desaparecer cuando se retiran las cargas que las generan.

- Son perpendiculares al eje del elemento y se inclinan en función del valor del esfuerzo de corte.

2.1.5.4. Flexión compuesta

Para elementos sometidos a flexión compuesta, momentos flectores significativos junto con esfuerzos axiales reducidos, es decir donde la flexión es la acción dominante o gran excentricidad relativa, el comportamiento es parecido al que se presenta en flexión simple.

En cambio, cuando las piezas están sometidas a un esfuerzo axial de compresión importante y a un momento flector reducido, es decir la compresión es la acción dominante el comportamiento es similar al de compresión centrada. En este caso, el ancho de las fisuras no supera en general 0.1 mm, y por lo tanto los pilares con excentricidades de este tipo cuentan con poca capacidad de aviso de su estado cercano a la rotura.

Para el caso de piezas sometidas a un esfuerzo axial de tracción importante y a un momento flexor reducido, es decir piezas con tracción dominante, el comportamiento tiene similitud a la detracción axial.

2.1.5.5. Torsión

La torsión se considera como secundaria cuando la estructura puede resistir con aceptable seguridad aún en el caso en que la rigidez a la torsión de algún elemento sea nula. Generalmente no se la toma en cuenta y se recomienda una cantidad de armadura mínima. La forma de las fisuras es simple y son paralelas entre sí y perpendiculares a la tensión principal de tracción.

Por tal razón es más importante tener en cuenta la contracción del hormigón que su dilatación. Puesto que no hay recursos para evitar la contracción y el consecuente apareamiento de fisuras lo único que queda disminuir el efecto con acciones simples como evitar la restricción por la misma armadura, reducir la cantidad de pasta del hormigón, disminuir la cantidad de agua de la mezcla, entre otros.

Otra buena práctica para disipar estas tensiones y evitar la aparición de fisuras, es la creación de juntas (de contracción o de dilatación) distribuidas conforme a la geometría del elemento.

Lo importante de esta solución es hacerlo en el proceso de maduración del hormigón y apenas ha concluido su fraguado final, este tiempo puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y de la estructura.

Foto 6 Aserrado de una junta



Fuente: Autor

El efecto de "mapeo" de superficies hormigonadas, puede manifestarse cuando el hormigón se "seca" muy rápido debido al efecto del sol y el viento o cuando se "enfía" muy rápido debido a remoción de encofrados con ambiente muy frío (especialmente en elementos verticales) Imágenes 1 y 2.

Imagen 1 Fisuras generadas por contracción por secado de una losa.

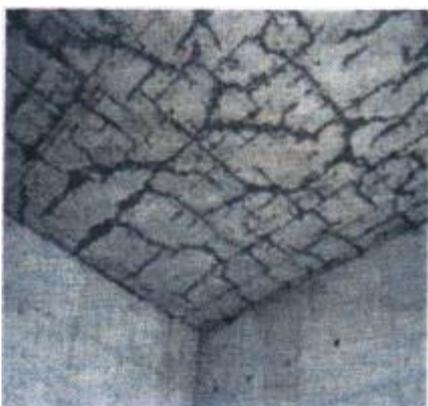


Imagen 2 Fisuras por contracción impedita de origen térmico en un muro.

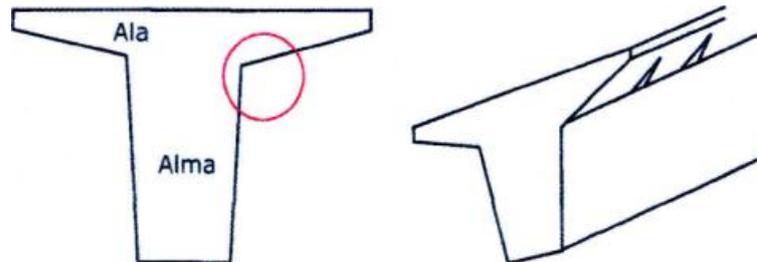


Fuente: Raúl Husni

Este efecto es común en elementos de sección variable. Una vez que se desmolda, las partes delgadas se secan más rápido que las partes gruesas, contrayéndose antes. Las partes gruesas restringen el movimiento que genera fisuras que nacen en la unión de estas partes.

La Fig. 9 muestra el arranque de fisuras en la parte delgada del elemento.

Figura 9. Fisuras en elemento estructural de sección variable



Fuente: Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España.

Cuando se desmolda un elemento de hormigón y hay una gran diferencia entre la temperatura del hormigón y la del aire (hormigón caliente y aire frío). La superficie expuesta del hormigón se enfría rápidamente, contrayéndose y la parte interna no, imponiéndole consecuentemente una restricción a la libre deformación. Esto genera tensiones de tracción sobre el hormigón externo que pueden generar una fisuración superficial con aspecto de mapeo.

El problema puede resumirse en forma sencilla como sigue:⁹ los grandes volúmenes de hormigón tienen gran dificultad para disipar el calor, por lo que la temperatura aumenta a causa del calor generado en las reacciones de hidratación del cemento. La condición final de equilibrio térmico podría asociarse a la temperatura media anual. En el proceso de enfriamiento se pueden producir tensiones, tanto por vínculos externos o internos, que fisuran el hormigón.

Para disminuir el efecto de mapeo por excesivo calor generado por la misma mezcla de hormigón en los elementos fundidos especialmente aquellos cuya menor dimensión sea mayor a 70-80 cm se puede tomar en cuenta los siguientes aspectos:

⁹ http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

- La disminución de cuantías de cemento en la mezcla, por tanto la reducción de cantidad de pasta.
- El uso de cemento de bajo calor de hidratación.
- El uso de aditivos retardantes que contribuyen a una lenta hidratación del cemento.
- El uso de hielo o agua helada para disminuir la temperatura del hormigón.
- Realizar el colado en horas de menor intensidad térmica.
- El uso de técnicas para enfriar los encofrados.

2.1.5.6. Efecto de la repetición de ciclos térmicos o ciclos de mojado-secado

La acción cíclica de cambios térmicos o de mojado y secado provoca una acción perjudicial por acumulación de efectos. Un ejemplo de este tipo de acción se puede apreciar en los pavimentos rígidos de las zonas frías donde los choques térmicos se pueden presentar bruscamente como una lluvia con presencia de granizo luego de un día soleado.

2.1.6. Acciones que generan desintegración del hormigón

2.1.6.1. Acción de las bajas temperaturas sobre el hormigón - efecto de los ciclos de hielo-deshielo

El efecto de las bajas temperaturas se considera en las siguientes situaciones:

- a) Ocurren en el momento de la elaboración, colocación y compactación del hormigón y horas posteriores, hormigón «joven», cuya resistencia a la compresión es inferior a 4 MPa.
- b) Constituyen una condición de servicio durante la vida útil del hormigón, por la repetición de ciclos de congelamiento y posterior deshielo, estando saturado el hormigón.

En ambos casos, la causa básica del deterioro puede asociarse con la expansión de volumen que sufre el agua al congelarse.

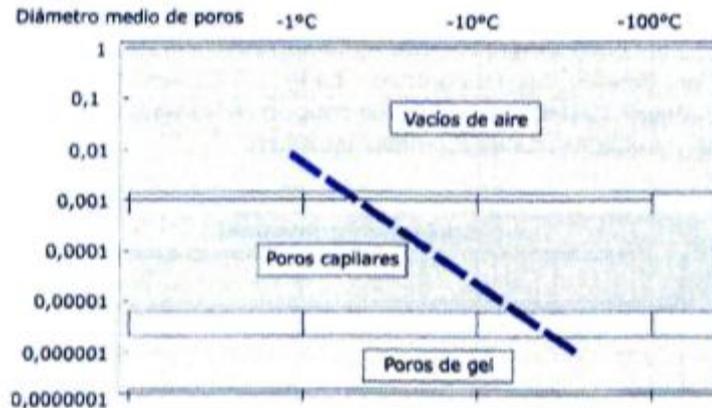
En general en nuestro país no es usual este efecto en las estructuras, ni en el hormigón en estado fresco más sin embargo en lugares donde la temperatura es cercana al punto de congelación, es recomendable el uso de aditivos acelerantes de fraguado que incrementen el calor de hidratación de la mezcla hasta conseguir principalmente el fraguado inicial del hormigón.

Para el caso a) el hormigón fresco o muy joven se congela con temperaturas cercanas a 0°C, los factores que contribuyen a este congelamiento son: el viento, las dimensiones y pequeños volúmenes de hormigón colados, mezclas con bajo contenido de cemento. Las medidas para evitar este efecto van a realizar todo lo contrario a lo detallado, inclusive usando aditivos acelerantes en la mezcla.

El caso b) puede asociarse el daño a la aparición de tensiones provocadas por la formación y expansión de hielo dentro de la estructura del hormigón endurecido. Para que se de este efecto la temperatura debe ser lo suficientemente baja como para provocar el congelamiento del agua ubicada en los capilares (de variados tamaños y diferentes grados de tensión) regularmente por debajo de 0°C. Como referencia para que los cristales de hielo se formen en todo el volumen la temperatura de referencia debe ser menor a -5°C.

La Fig. 10 ilustra estos conceptos.

Figura 10 Temperatura de congelamiento para el agua ubicada en los poros del hormigón



Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

Existe un contenido de humedad crítica por debajo del cual no ocurren daños, que se designa "saturación crítica", en estas condiciones el aumento de volumen del agua al congelarse es de aproximadamente el 10 %, por lo que si el hormigón tuviera un 10% de poros capilares con aire (saturación menor al 90%), al congelarse el agua ocuparía el vacío disponible sin introducir tensiones perjudiciales en el material. Debido a esta condición es una buena práctica el uso de aditivos inclusores de aire que generan burbujas regulares, bien distribuidas y ligeramente más grandes a los poros capilares en donde se alojaría el exceso de volumen de agua al congelarse, disipando las tensiones.

En distintas experiencias de laboratorio se ha demostrado que ese nivel crítico es de aproximadamente el 92 % para morteros, pudiendo variar algo para hormigones, tal como se visualiza en Fig. 11.

Figura 11 Temperatura de congelamiento para el agua ubicada en los poros del hormigón



Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

Influencia del grado de saturación de un mortero sobre el comportamiento dimensional

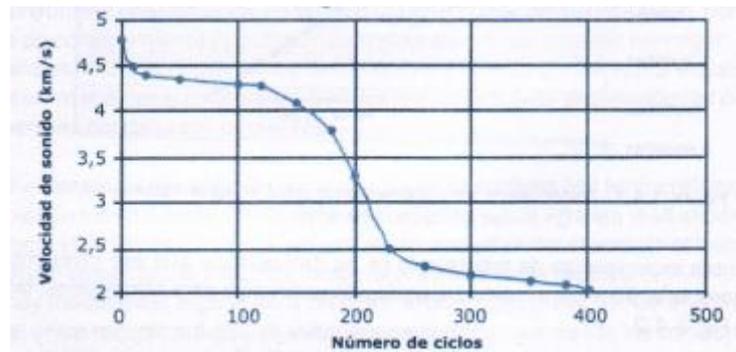
La otra característica a contemplar en el deterioro por congelamiento del hormigón endurecido es que el daño no es inmediato, sino que son necesarios numerosos "ciclos" de congelamiento y deshielo.

Además, debe tenerse presente que deberán coincidir las bajas temperaturas con la condición de saturación del hormigón superior al nivel crítico para que progrese el deterioro. Es decir en zonas desérticas donde la temperatura es baja pero la falta de lluvias es evidente este efecto puede ser nulo.

Para evidenciar el ataque del efecto que se produce por los efectos de hielo y deshielo se puede usar ensayos de ultrasonido para medir la disminución en la velocidad del pulso es sinónimo de poros congelados y posibilidad de deterioro.

La Fig. 12 muestra el ritmo de deterioro progresivo del hormigón, evidenciado por la disminución en la velocidad de transmisión de un pulso ultrasónico, a medida que se acumulan los ciclos.

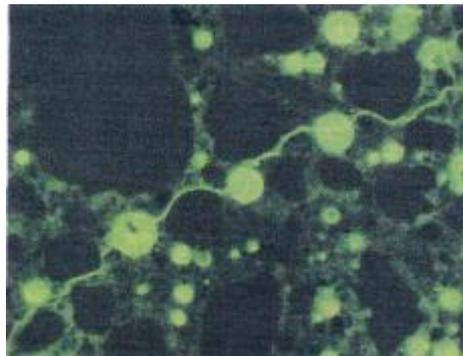
Figura 12 Deterioro progresivo del hormigón, por ciclos de congelamiento y deshielo



Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

La Foto 7 muestra como las fisuras se propagan por la pasta, unen los capilares y bordean a los agregados.

Foto 7 Imagen digital de un corte delgado de hormigón con aire incorporado que muestra una fisura originada por efectos del congelamiento.



Fuente: Raúl Husni

Para el caso de los pavimentos dañados, la zona más húmeda corresponde a las juntas (de ahí la importancia de que las juntas sean correctamente selladas), por lo que allí se centran los fenómenos de fisuración. Visto desde arriba, puede adivinarse una letra "D", identificándose en inglés como "D-cracking". Foto 8.

Foto 8 Pavimento deteriorado superficialmente (descamación) en coincidencia con las zonas de acumulación de agua.



Fuente: Raúl Husni

2.1.6.2. Acción del fuego sobre las estructuras de concreto armado

Como el hormigón es un material compuesto (agregado grueso, agregado fino, cemento, puzolana), los distintos componentes no reaccionan de la misma forma ante la acción de las altas temperaturas. El efecto del fuego sobre estos va a depender del nivel de temperatura que alcance, el tiempo de exposición y de la composición misma de la mezcla.

El efecto que puede causar el fuego sobre una estructura es diferente conforme a la condición misma del incendio donde intervienen variables como los materiales combustibles, la presencia de oxígeno que alimente el fuego, las posibles barreras de propagación, la presencia de equipos contra incendios y la velocidad e intensidad de sofocación que tengan los organismos de socorro y bomberos.

El agua atrapada intrínseca mientras se evapora produce un retardo en el paso del calor hacia el interior de la masa. Pero contrario a este efecto positivo de la humedad, la evaporación del agua contenida en los poros no accesibles hace que se produzca un fuerte incremento de la presión interna, que puede originar desprendimientos explosivos del hormigón del recubrimiento que dejen la armadura expuesta.

La conductividad térmica del hormigón es baja, siendo inferior en hormigones ligeros que en los fabricados con agregados calizos, y menor en estos que en los fabricados con agregados silíceos.

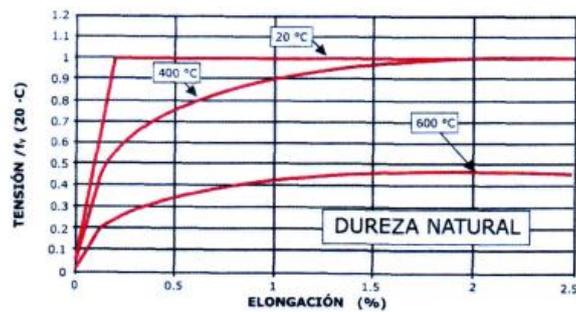
A la hora de evaluar una estructura afectada por el fuego es de mucha utilidad la tonalidad del hormigón o aspecto superficial posterior al evento sucedido.

- ¹⁰Entre 300 y 600°C, tonalidad rosácea, por alteración de los compuestos de hierro. El hormigón pierde hasta 60% de la resistencia inicial a la compresión.
- Hasta 900°C, color gris claro. A esas temperaturas se han comenzado a degradar los compuestos del conglomerante endurecido. El hormigón se vuelve poroso y friable. Al enfriarse la superficie de las piezas mientras el interior permanece muy caliente, se producen una serie de fisuras que se cortan ortogonalmente (fisuración en piel de cocodrilo). El hormigón pierde entre el 60 y el 90% de la resistencia inicial.
- Por encima de los 900°C, el hormigón adquiere un tono blancuzco a amarillento. Carece de resistencia residual alguna.

➤ **Alteraciones producidas en el acero**

La capacidad última del acero disminuye con la temperatura, pero la deformación máxima permanece estable en torno al 2,5% y el diagrama tensión-deformación resulta alterado para temperaturas muy inferiores a las que producen la disminución de la capacidad última. Conforme ilustra Fig. 13

Figura 13 Diagrama tensión-deformación en función de la temperatura del hormigón



Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

Una vez identificado el probable rango de temperatura que alcanzó el incendio se puede determinar el estado de las armaduras de refuerzo, tomando en cuenta las siguientes premisas:

- Si el acero ha estado sometido a temperaturas inferiores a los 600°C, al enfriarse recupera prácticamente la totalidad de su capacidad inicial.
- Los aceros de dureza natural, sometidos a temperaturas de hasta 1000°C, al enfriarse recuperan la totalidad de su capacidad.
- Los aceros deformados en frío, presentan una pérdida en su resistencia residual de hasta un 25 - 30% para temperaturas de hasta 700°C.

Los aceros de pretensado usado en vigas y losas prefabricadas pueden alcanzar pérdidas mayores debido al poco hormigón que recubre las armaduras.

Además es conveniente conocer el procedimiento y tiempo de sofocación del fuego, dado que mientras más rápido se extinguió se generó un enfriamiento brusco que puede producir el templado del acero.

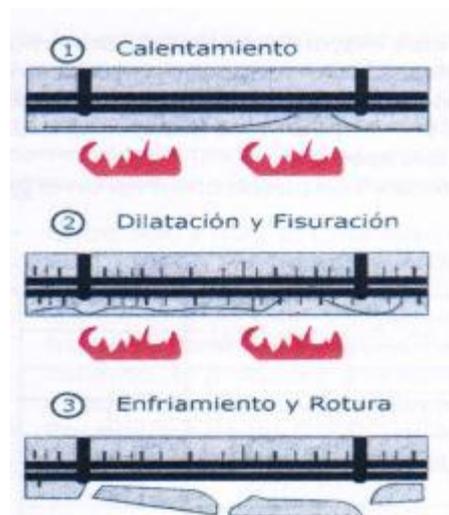
➤ **Alteraciones producidas en la adherencia acero – hormigón**

El hormigón y acero tienen aproximadamente el mismo coeficiente de dilatación térmica, lo que hace óptimo su utilización conjunta. Sin embargo, sus coeficientes de transmisibilidad difieren bastante, el acero es un buen conductor del calor, mientras que el hormigón es un aislante térmico.

Un foco de fuego localizado origina calentamientos localizados de las armaduras, el acero transmite rápidamente el calor, produciéndose la dilatación de las barras en zonas en que el hormigón todavía está relativamente frío. Se producen así compresiones que superan ampliamente la capacidad resistente del hormigón, que se microfisura en una zona tubular que envuelve a la barra.

Mientras las temperaturas permanecen altas, el acero sigue comprimiendo al hormigón y aunque puede quedar oculto el descenso en la capacidad del anclaje, las condiciones de adherencia estarán irreversible y gravemente dañadas, por lo que luego de cualquier incendio otro factor a tomar en cuenta es la adherencia de las barras al hormigón.

Figura14 Alteraciones producidas en la adherencia acero-hormigón afectados por el fuego



Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

Gradiente térmico

Cuando una pieza de hormigón se calienta aparece un gradiente de temperaturas medio, que genera una deformación diferencial de las distintas fibras de la sección, donde las fibras más calientes se alargan (en general en las losas o vigas son las fibras inferiores).

La Foto 9 muestra la rotura de la esquina de una losa como consecuencia de un incendio en el espacio interior. Como se ve la rotura es equivalente a la generada por una carga en el piso superior.

Foto 9 Rotura de la esquina de una losa como consecuencia de un incendio



Fuente: Raúl Husni

Al incrementarse los momentos negativos se incrementa la profundidad de las zonas comprimidas en sectores que pueden estar muy solicitados como por ejemplo aquellos próximos a los apoyos de las vigas.

El nivel de daño producido en la estructura de hormigón armado puede ser tal que le haga perder la estabilidad, pero en caso de no ser así, es necesario definir el grado de afectación que presenta la estructura para decidir la demolición o la reparación.

Para constatar el grado de afectación del hormigón de una estructura se debe realizar una correlación entre los datos obtenidos del pulso ultrasónico y la rotura de núcleos de hormigón extraídos dependiendo de los aspectos visuales o tonalidades que presente el elemento.

2.1.6.3. Ataque por ácidos y bases

Las soluciones ácidas atacan directamente materiales básicos como el hormigón. La consecuencia del ataque de ácidos es la desintegración de la pasta de cemento, quedando expuestos los agregados (que pueden también ser atacados dependiendo de su naturaleza) y la disminución de la alcalinidad del hormigón

(vía libre a la corrosión de armaduras). En la Foto 10 se puede observar el aspecto superficial de un hormigón atacado.

Foto 10 Aspecto de un hormigón atacado por ácidos.



Fuente: Raúl Husni

Condiciones de ocurrencia

Aguas ácidas pueden encontrarse en zonas cercanas a terrenos de relleno, lugares donde hay almacenamiento de residuos mineros y lugares donde exista descomposición de materia orgánica como desechos agrícolas y de la industria alimentaria.

¹¹La acidez de las aguas naturales se debe generalmente al anhídrido carbónico (**CO₂**) disuelto, que se encuentra en concentraciones considerables en aguas minerales, agua de mar y aguas subterráneas en contacto con vegetales o animales en descomposición.

Aguas con un contenido de **CO₂** de 15 a 40 mg/dm³ son consideradas normales; sin embargo se encuentran con frecuencia concentraciones del orden de 150 mg/dm³. Como referencia, el agua de mar contiene de 35 a 60 mg/dm³ de **CO₂**.

Como regla general, cuando el pH del agua subterránea o de mar sea mayor o igual que 8, la concentración de **CO₂** es insignificante; cuando el pH es menor que 7, pueden existir concentraciones de **CO₂** dañinas. La determinación del índice de Baumann-Guili modificado puede aportar información significativa cuando se sospeche condiciones de ataque por aguas ácidas.

Cada situación será diferente dependiendo del tipo de ácido que se trate. El ácido dentro de la masa del hormigón forma sales que si son insolubles y expansivas,

11

pueden provocar el deterioro del hormigón. Si por el contrario las sales son solubles, se produce un paulatino incremento de la porosidad y se acelera el proceso de desgaste y deterioro.

Un ejemplo típico de este tipo de ataque es el efecto de las aguas negras que fluyen sobre las soleras de ductos a alcantarillas, donde regularmente se presenta problemas de erosión y desgaste superficial.

En la tabla 1 se indican algunos ejemplos de ácidos que forman sales solubles e insolubles.

Tabla 1 Ataque ácido al hormigón

Acido	Fórmula	Ocurrencia
Ácidos agresivos que forman Sales de calcio solubles:		
Ácido clorhídrico	HCl	Industria química
Ácido nítrico	HN03	Industria de fertilizantes
Ácido acético	CH ₃ CO ₂ H	Procesos de fermentación
Acido fórmico	H.CO ₂ H	Industria de alimentos y temidos
Ácido láctico	C ₂ H ₄ (OH).CO ₂ H	Industria lechera
Ácido tánico	C ₇₆ H ₅₂ O ₄₆	Industria del tanino, aguas pantanosas
Ácidos que forman Sales insolubles:		
Ácido fosfórico	H ₃ PCO ₄	Industria de fertilizantes
Acido tartárico	[CH(OH).CO ₂ H] ₂	Industria vitivinícola

Fuente: Ministerio del Ambiente (2008) Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil. Lima –Perú.

Los azúcares disueltos en forma de solución se transforman en ácidos debido a procesos de fermentación, estos ácidos aunque no son del todo agresivos en periodos prolongados afectan la matriz cementante.

En general los agentes químicos corrosivos necesitan como vehículo móvil el agua para atacar el hormigón, la velocidad de penetración aumenta conforme aumenta la temperatura.

Tabla 2 Velocidad de un ataque al hormigón de algunas sustancias químicas

Vel. de ataque a temperatura ambiente	Ácidos inorgánicos	Ácidos orgánicos	Soluciones alcalinas	Soluciones salinas	Varios
Rápida	Clorhídrico Fluorhídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico		Cloruro de aluminio	
Moderada	Fosfórico	Tánico	Hidróxido de sodio 20 %	Nitrato y sulfato de amonio Sulfatos de sodio, magnesio y calcio	Bromo «s) Sulfíto líquido
Lenta	Carbónico		Hidróxido de sodio 10-20% Hipoclorito de sodio	Cloruro de amonio y magnesio Cianuro de sodio	Cloro (gas) Agua de mar Agua Dulce
Despreciable		Oxálico Tartárico	Hidróxido de sodio 10% (*) Hipoclorito de sodio Hidróxido de amonio	Cloruro de calcio y sodio Nitrato de zinc Cromato de sodio	Amoniaco líquido

(*) Evitar el uso de agregados silíceos ya que son atacados por soluciones hidróxido de sodio

Fuente: Ministerio del Ambiente (2008) Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil. Lima -Perú

2.1.6.4. Acción de los sulfatos

Los iones sulfato pueden estar presentes tanto en soluciones acidas (ácido sulfúrico), en soluciones alcalinas (sulfato de amonio) o en sales (sulfatos de calcio, de magnesio y de sodio), estos contaminantes atacan a los hormigones con reacciones expansivas que destruyen la matriz de hormigón.

El ion sulfato utiliza como mecanismo de daño la formación de compuestos expansivos, un ejemplo frecuente es el desarrollo de estringita en el interior del hormigón, este volumen genera presiones que terminan desintegrando al elemento. Ver Foto 11.

Foto 11 Expansión de hormigón causada por ataques por sulfatos



Fuente: Raúl Husni

Concentración del ion sulfato en la solución:

Si bien el factor más importante en la velocidad de agresión es la concentración del ion sulfato presente en la solución, los hormigones porosos producto del exceso de agua de la mezcla o que simplemente no han sido bien compactados y curados son blancos susceptibles de deterioro por causa de este agente.

Tipo de cemento empleado:

Una primera medida para mitigar el efecto del ion sulfato lo establece la norma que rige para los cementos en cuanto a la cantidad de aluminatos presentes en su composición, especialmente en aquellos cementos de resistencia a los sulfatos donde las empresas cementeras del país han tenido un desarrollo importante para mejorar los sistemas de molienda y dosificación para incluir mayores contenidos de adiciones para disminuir la cantidad de Clinker y directamente la cantidad de aluminatos.

Ataques por sulfatos en agua de mar

El agua de mar contiene sulfatos en solución pero la presencia del ion cloruro modifica la situación puesto que cuando se trata de estructuras armadas, el ingreso de cloruros genera corrosión en las armaduras, este efecto es mucho más agresivo y rápido que el ataque de los sulfatos al hormigón.

Foto 12 Hormigón atacado por agua de mar en un muelle Jambelli - Ecuador



Fuente: Autor

Si bien los cementos de alta resistencia a los sulfatos, tienen bajo contenido de aluminato tricálcico C3A, por debajo del 5% que contribuye al ataque por sulfatos, por otra parte puede reducir su capacidad de resistencia a la penetración de ion cloruro, por esto es importante a la hora de escoger el tipo de cemento determinar qué tipo de agresión predominará en la estructura.

2.1.6.5. Reacciones deletéreas de los agregados

Por lo regular asumimos que los agregados de hormigón son inertes, pero en más de una ocasión se ha podido observar que interactúan con el medio circundante a la estructura (especialmente en contacto con agua), generando reacciones expansivas que destruyen el hormigón.

El tipo de mineral del que está formado el agregado y la zona geográfica del que se ha extraído contribuyen a que un material sea más menos reactivo.

Estas reacciones pueden ser:

- Reacción álcali-agregado, que incluye a la reacción álcali-sílice y álcali-carbonato.
- Reacción expansiva de basaltos contaminados con arcillas expansivas.
- Reacción deletérea de agregados calcáreos en presencia de sulfatos con formación de thaumasita.
- Reacción expansiva de piritas.

El mecanismo de reacción es complejo y está asociado a hormigones en contacto permanente con agua saturados o semi saturados donde los efectos pueden aparecer luego de varios años (en Ecuador existe casos de plantas de tratamiento de agua que a los dos años ha presentado esta patología).

Foto 13 Fundación del puente Paulo Guerra



Foto 14 Detalle de la misma fundación



Fuente: Raúl Husni

Las Fotos 13 y 14 muestran estructuras presumiblemente afectada por reacción álcali-agregado. Notar que en ambos casos, el hormigón se encuentra saturado.

A partir de estas experiencias desagradables, ahora en el país se realiza con algo más de frecuencia ensayos para determinar la reactividad álcali-agregado, debido a que nuestras cordilleras son jóvenes y están en formación, por tanto los materiales pétreos tienen alta reactividad.

No existen mecanismos para detener las reacciones una vez que han comenzado, por lo que es necesario actuar en forma preventiva, asegurando la aptitud de los agregados que se empleen al elaborar el hormigón. En este aspecto nuestra normativa relacionada al cemento es mandataria en cuanto tener cementos con alto contenido de puzolana para disminuir el riesgo de reacción.

Para las estructuras que se presume tengan alguna de las reacciones deletéreas es importante dentro del proceso de diagnóstico realizar todos los estudios correspondientes a dejar de lado las causas más simples de fisuración, solo al final de todos estos se debe extraer núcleos de hormigón para verificar la

potencialidad de reacción realizando exámenes petrográficos y mineralógicos del agregado.

2.1.6.6. Abrasión y desgaste

Se considera abrasión cuando hay una acción mecánica por arrastre de sólidos sobre la superficie como el caso de un vertedero, un canal que conduce agua con sedimentos o un túnel de conducción en una central hidroeléctrica.

Además los pisos industriales y los pavimentos sufren frecuentemente la acción de los neumáticos y ruedas macizas del montacargas, adicional el arrastre de pallets son acciones muy agresivas y que generan deterioro superficial al hormigón.

La Foto 15 ilustra el desgaste de un pavimento en zona fría, por acción de las cadenas y clavos de los neumáticos. Se ve claramente la huella de desgaste que coincide con el tránsito.

Foto 15 Desgaste de un pavimento en zona fría



Fuente: Raúl Husni

2.1.6.7. Lixiviación y eflorescencia

¹²Las eflorescencias consisten en el depósito de sales que son lixiviadas fuera del hormigón, las que se cristalizan luego de la evaporación del agua que las transportó o por la interacción con el

¹²

http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

dióxido de carbono de la atmósfera. Entre las sales típicas podemos citar los sulfatos y carbonatos de sodio, potasio o calcio.

Foto 16 Muestra eflorescencias generalizadas en un muro de contención.



Fuente: Autor

Este efecto ocurre cuando el agua puede filtrar a través del material o cuando la cara expuesta sufre procesos de humedecimiento y secado continuos que en el proceso acarrear sales que luego se cristalizan en la superficie. Las eflorescencias aunque perjudican la estética no constituyen a un problema específico de durabilidad; sin embargo, por el incremento de la porosidad, disminuye la resistencia, aumenta la permeabilidad, reduce el PH, haciendo la estructura más vulnerable a otros agentes más agresivos.

Una disminución de un 25% del contenido de hidróxido de calcio puede producir hasta un 50% de pérdida de su resistencia original.

El hidróxido de calcio disuelto reacciona con el dióxido de carbono del aire y genera carbonato de calcio que es una eflorescencia de color blancuzco como se puede observar en la Foto 17.

Foto 17 Muestra un proceso de lixiviación con formación de estalactitas en el metro de Caracas.



Fuente: Raúl Husni

En el proceso de lixiviación y eflorescencia mucho tiene que ver el tipo de agua y su temperatura, el agua con baja temperatura aumenta el riesgo de solubilidad del hidróxido de calcio, así mismo las aguas puras originadas por la condensación y el agua blanda proveniente de deshielos o lluvia son las más agresivas pues no contienen iones calcio y disuelven con facilidad el hidróxido de calcio, las aguas duras (ricas en iones calcio), son menos peligrosas.

2.1.7. Acciones Inducidas

2.1.7.1. Fluencia

La Fluencia es un fenómeno por el cual se genera un incremento de la deformación de la pieza cargada, inclusive cuando la estructura mantiene una tensión constante y continua.

Se ha observado en algunos casos que con el tiempo las columnas de los edificios de altura tienden a acortarse, pero las mamposterías lo impiden por ser menos deformables, lo que origina que absorban carga de la estructura hasta que no pueden soportar y estallen por ser materiales frágiles. Ver Foto 18.

En elementos fundidos con hormigón de alta relación agua/cemento y que tienen bajo contenido de humedad la fluencia se puede desarrollar en un plazo entre 2-5 años siendo el primer año en el que se desarrolla el 80% de la deformación total.

Foto 18 Rotura de un tabique exterior de ladrillos por fluencia de la columna interior



Fuente: Raúl Husni

2.1.7.2. Asentamientos

Entre las causas más frecuentes que generan la aparición de fisuras y daños en las estructuras de hormigón armado, están los denominados asentamientos diferenciales.

Los asentamientos diferenciales son los movimientos o desplazamientos relativos de las diferentes partes de una estructura a causa de un asentamiento irregular de la misma, provocados por un desequilibrio de esfuerzos en el suelo.

En suelos arcillosos se pueden producir grandes asentamientos en un largo plazo de tiempo. Experimentalmente se pudo determinar que el tiempo de asentamiento de los estratos arcillosos es proporcional al cuadrado de su espesor es decir, por ejemplo en la cimentación de un edificio descansa sobre un estrato de 2 metros de espesor y el asentamiento se produce en cuatro años, esta duración sería de 16 años si el espesor fuera de cuatro metros y de 100 años si el espesor fuera de diez metros. Un edificio conocido que ha sufrido este fenómeno es la conocida Torre de Pisa

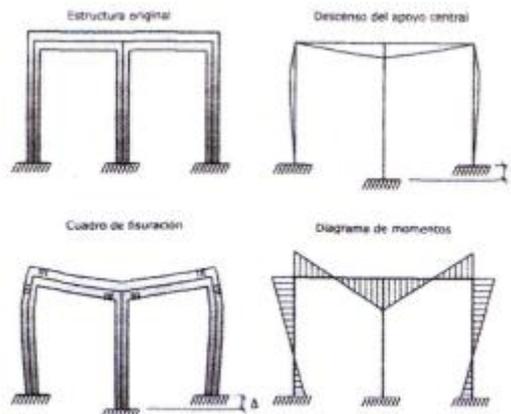
En la foto 19 se puede observar los efectos de un asentamiento diferencial.

Foto 19 Edificio Ibarra



Fuente: Autor

Figura 15 Asentamiento diferencial



Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

La diferencia en el comportamiento de los apoyos de la estructura de hormigón provocan en las estructuras puede producir un cuadro de fisuras no deseado e incluso la rotura de algún elemento ya sea estructural o de mampostería (Fig. 15).

¹³Los asentamientos diferenciales pueden ser provocados por distintas causas, algunas de las cuales -las más importantes- se mencionan a continuación:

- Errores en el diseño o en la ejecución de las fundaciones.
- Cargas no previstas en el proyecto original.
- Deformación excesiva del suelo de fundación, no considerado en el proyecto por desconocimiento o información errónea de sus características.
- Deformación excesiva localizada del suelo por la aparición de alteraciones no previstas (inundación, vibración, erosión, socavación, etc.).
- Fundación sobre pozos mal cegados, rellenos mal ejecutados, alteraciones del terreno desconocidas, etc.
- Fundación de una misma estructura sobre distintos tipos de suelo y/o utilización de distintos sistemas de cimentación o niveles de la fundación.
- Alteraciones por construcciones vecinas.
- Existencia de suelos expansivos.
- Inyección del terreno en zonas próximas, que genere un importante empuje vertical sobre la superficie de apoyo de la fundación (ascensos de los apoyos).

Cuando los asentamientos diferenciales se pueden prever y cuantificar, las solicitaciones que se generan en la estructura como consecuencia de su existencia deberían ser evaluadas y tenidas en cuenta, considerándolos en el diseño o, modificando las condiciones existentes que generarían dichos asentamientos con el fin de evitarlos.

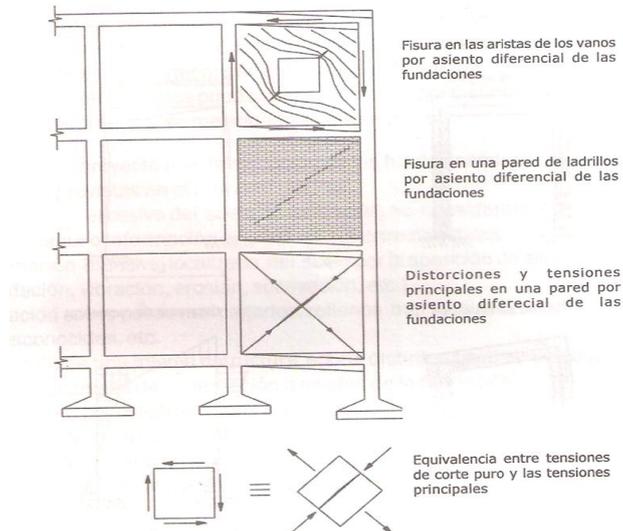
En la actualidad, tanto el cálculo de solicitaciones por corrimiento de los apoyos así como el análisis del conjunto suelo-fundación-estructura se ven notablemente facultados con la utilización de programas de análisis estructurales que permiten modelarlos teniendo en cuenta las características mecánicas de cada uno de ellos y su resolución mediante ordenadores.

Al estar un muro enmarcado en la estructura, cuando desciende un apoyo más que otro, éste se ve solicitado por esfuerzos rasantes perimetrales, lo que equivale a una distorsión angular, donde una diagonal se alarga y la otra se acorta con esfuerzos principales de tracción y compresión inclinados a 45° .

En la dirección de la diagonal que se alarga aparecerán en el muro esfuerzos de tracción que si alcanzan valores equivalentes a su resistencia máxima, originaran fisuras en dirección perpendicular a dicho esfuerzo, esta es la razón por la cual

los asentamientos originan en los muros un cuadro de fisuras inclinadas aproximadamente 45°. (Ver Fig. 16)

Figura 16 Asentamiento diferenciales en el marco de hormigón y sus consecuencias en los muros de ladrillo



Fuente: Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España

Cuando se presenten asentamientos en muros con aberturas, éstas se constituyen en una perturbación que genera una fuerte concentración de tensiones en las esquinas como lo muestran la Foto 20 y Foto 21

Foto 20 Vista exterior de los daños.



Foto 21 Fisuras en columnas y paredes producidas por asentamiento.



Fuente: Raúl Husni

2.1.7.3. Pretensado

Se denomina hormigón pretensado a la tecnología de construcción de elementos estructurales de hormigón sometidos intencionadamente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio. Dichos esfuerzos se consiguen mediante barras, alambres o cables de alambres de acero que son tensados y anclados al hormigón. El pretensado de estructuras de hormigón es un método constructivo que permite obtener elementos más durables, eficientes, esbeltos.

El objetivo es el aumento de la resistencia a tracción del hormigón, introduciendo un esfuerzo de compresión interno que contrarreste en parte el esfuerzo de tracción que producen las cargas de servicio en el elemento estructural.

Cuando se emplean cables engrasados o cables alojados en canales metálicos en los cuales se inyecta cemento con aditivo expansor, el tensado se hace con el hormigón endurecido, razón por la cual comúnmente se lo denomina pos tensado.

Para poner en práctica la idea del hormigón pretensado es indispensable la utilización tanto de hormigón como de acero de altas resistencias. Existen además otros aspectos que se suman a esta demanda. En el hormigón postensado los tendones pretensores deben ser anclados contra el hormigón mediante dispositivos mecánicos. Para reducir el tamaño de estos dispositivos a dimensiones prácticas y económicas es necesario que transmitan esfuerzos locales elevados al hormigón y, por lo tanto, este deberá ser de la mayor resistencia posible.

En el caso particular de las estructuras con pretensado parcial es fundamental la presencia de las armaduras pasivas de manera tal de distribuir las fisuras con separaciones más pequeñas y de dimensiones capilares.

Precauciones que se debe tener en cuenta tanto en el proyecto como en la construcción de las estructuras pre y postensadas se detallan a continuación:

¹⁴• La compresión del hormigón sólo se produce si es posible su acortamiento.

- Los cambios de dirección del cable generan fuerzas transversales de tracción o compresión.
- Verificar que las dimensiones resultantes permitan lograr un buen llenado de los moldes.
- Controlar las armaduras pasivas, en particular en la zona de los anclajes.
- Verificar la posición de los cables, su fijación y la estanqueidad de las vainas.
- Controlar la resistencia del hormigón endurecido antes de tensar los cables ya que en general es en esa instancia donde se generan las mayores solicitaciones.

La Foto 22 muestra la falla de la viga prefabricada como consecuencia de haber realizado el tensado sin que el hormigón cuente con la resistencia suficiente; en la Foto 23 se ve un detalle del aplastamiento de la zona inferior, donde se alojan las vainas con sus cables y las solicitaciones de compresión son máximas.

En la Foto 24 se muestra la rotura de una viga como consecuencia de la falla en una junta de hormigonado y en la Foto 25 los trabajos previos a su reparación.

Foto 22 Falla en viga prefabricada postensada



Fuente: Raúl Husni

Foto 23 Detalle, zona de aplastamiento



Fuente: Raúl Husni

Foto 24 Falla de junta de hormigonado



Fuente: Raúl Husni

Foto 25 Procedimiento de reparación



Fuente: Raúl Husni

2.1.8. Fallas constructivas típicas

El origen de las fallas constructivas típicas que aparecen en una estructura pueden originarse durante todo el proceso, desde el proyecto hasta la construcción misma, a continuación se detalla algunas etapas.

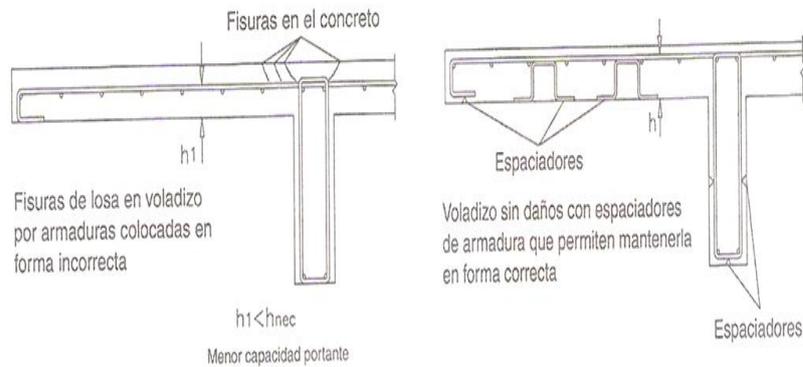
- Diseño general
- Cálculo, documentación y especificaciones técnicas.
- Replanteo y nivelación.
- Provisión de materiales incluidos encofrados.
- Corte doblado y colocación de armaduras.
- Elaboración y transporte del hormigón.
- Colocación y curado del hormigón.
- Remoción de moldes y puntales.

De las mencionadas, en las que comúnmente se genera fallas son las siguientes:

2.1.8.1. Deficiencias en el detalle y/o posicionado de la armadura

La Fig. 17 muestra como una colocación inadecuada puede originar la disminución del brazo elástico interno y como consecuencia la sección contará con una menor capacidad portante y seguramente aparecerán las fisuras.

Figura 17 Vista de soportes para mantener las armaduras en posición correcta

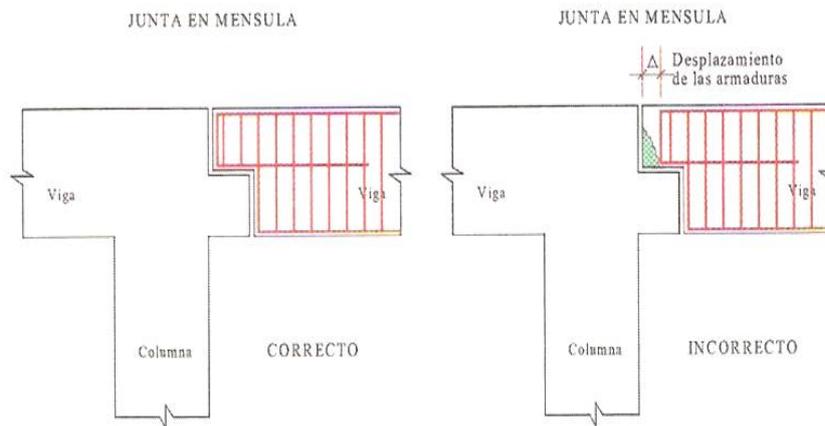


Fuente:Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España

Las armaduras de refuerzo que por error del proyecto o de la construcción no son las adecuadas, ya sea en sección, configuración o posición terminan afectando la capacidad portante de la estructura.

La Fig. 18 y la Foto 26 ilustran otro tipo de falla originada también por una colocación deficiente de las armaduras.

Figura 18 Fallas por mal posicionado de las armaduras.



Fuente:Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España

Foto 26 Fallas por mal posicionado de las armaduras.



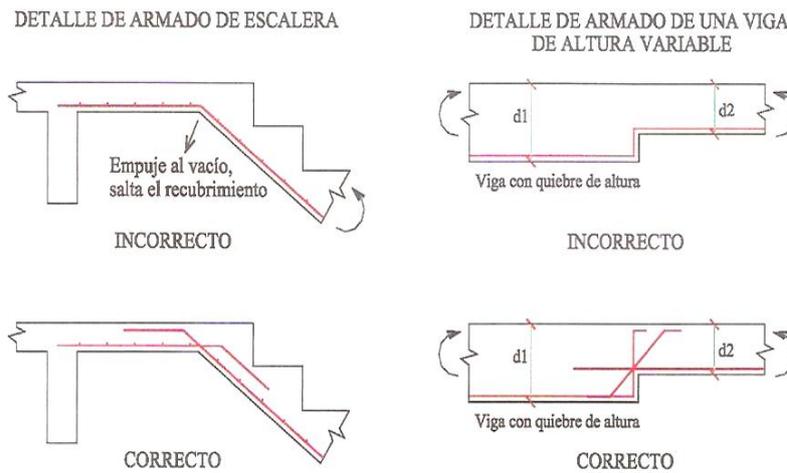
Fuente: Raúl Husni

Una deficiencia habitual es no mantener la separación entre las varillas con la finalidad de que el hormigón pueda ser colocado y compactado adecuadamente, sin que se formen hormigueros, generalmente en las uniones viga-columna, donde existe alta concentración de acero de refuerzo. Es conveniente realizar ajustes a la mezcla de hormigón, especialmente con el uso de fluidificantes para conseguir una mezcla que pueda colarse entre los espacios y que se acomode adecuadamente para disminuir el uso de vibradores.

Si el recubrimiento no es el adecuado o se verifica la presencia de hormigueros en los elementos no se tiene una protección adecuada a las armaduras, las mismas que pueden verse afectadas por riesgo de corrosión.

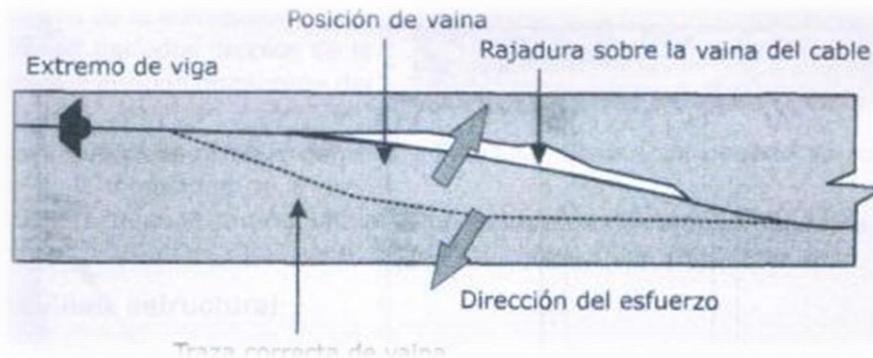
Las figuras siguientes muestran casos típicos de armaduras pasivas con fallas de diseño (Fig. 19) o armaduras activas mal colocadas (Fig. 20).

Figura 19 Armaduras pasivas con fallas de diseño.



Fuente: Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España

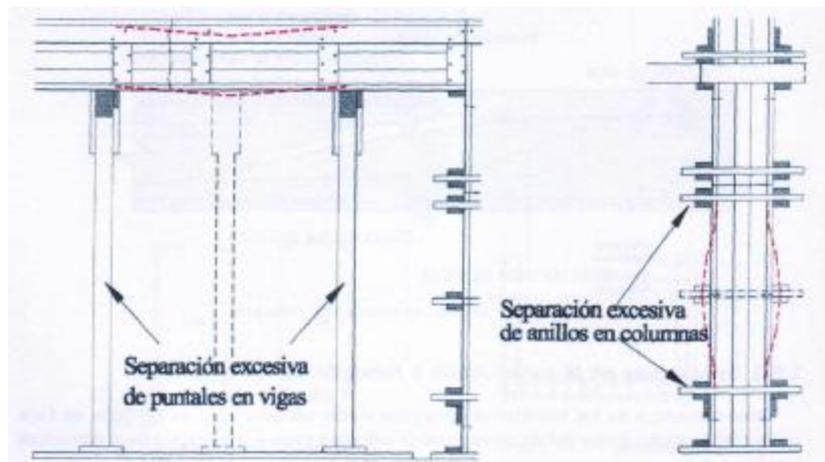
Figura 20. Armaduras activas mal colocadas.



2.1.8.2. Deficiencias en la construcción o remoción de los encofrados

La remoción de los puntales cuando aún el concreto no alcanzó la resistencia suficiente puede originar sobretensiones, fisuración y aún el colapso de la estructura. Ver Fig. 21

Figura 21 Fallas por diseño Inadecuado de los encofrados.



Fuente:Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España

2.1.9. Acción sísmica

El mapa de zonas sísmicas para propósitos de diseño, proviene de un estudio completo que considera fundamentalmente los resultados de los estudios de peligro sísmico del Ecuador actualizados al año 2011, así como también ciertos criterios adicionales que tienen que ver principalmente con la uniformidad del peligro de ciertas zonas del país, criterios de practicidad en el diseño, protección de ciudades importantes.

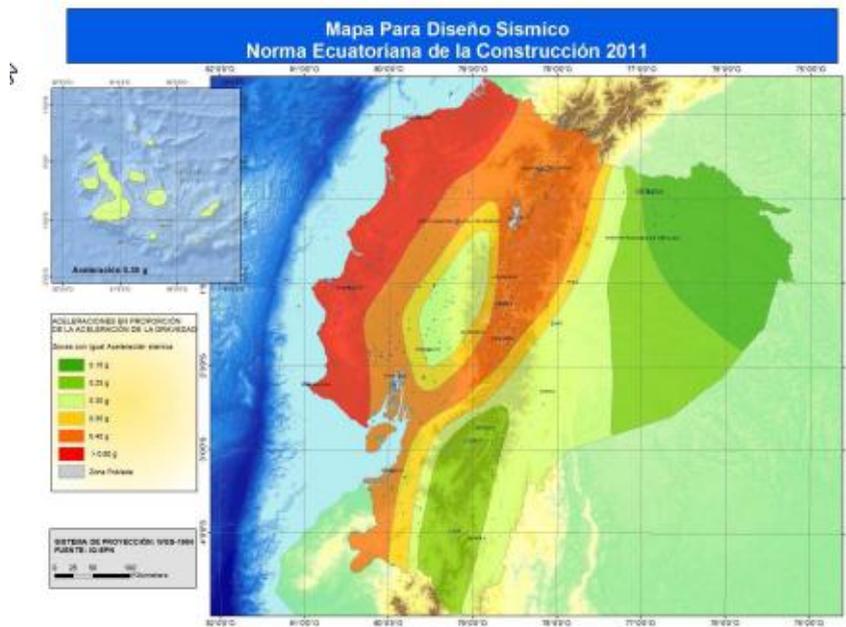


Figura 2.1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

Tabla 2.1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Origen de la acción

Los sismos o terremotos son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por fenómenos diversos. Para la ingeniería estructural, los más importantes son los de origen tectónico, provocados por bruscos desplazamientos de las grandes placas de la corteza terrestre.

La energía liberada en un sismo se propaga, principalmente como ondas vibratorias, a través de la roca de la corteza y llega a la fundación de las construcciones luego de atravesar los estratos superficiales del suelo.

Estas ondas vibratorias constituyen la acción directa del sismo sobre las construcciones.

Otro tipo de acciones denominadas indirectas, tienen su origen en el comportamiento del suelo de fundación y dependen del tipo y la geometría del

depósito que lo conforma, estos son, los deslizamientos, los asentamientos, las avalanchas, la licuefacción del suelo.

Las vibraciones debidas a los terremotos se transmiten a la construcción a través de sus fundaciones. La intensidad de la vibración inducida en una construcción depende tanto de las características del movimiento del terreno como de las propiedades dinámicas de su estructura (amortiguamiento propio de la edificación y relación entre los períodos propios de la estructura y el periodo dominante del suelo).

Estas propiedades cambian con el aumento de la intensidad de la excitación aplicada; tanto el amortiguamiento como los periodos propios tienden a aumentar.

Vulnerabilidad estructural

Las vibraciones inducidas en una construcción por la acción sísmica generan fuerzas de inercia en correspondencia con sus masas.

Las fuerzas de inercia se transmiten a la fundación a través de su estructura, siguiendo trayectorias que dependen de su configuración. En su trayecto pueden provocar los siguientes efectos:

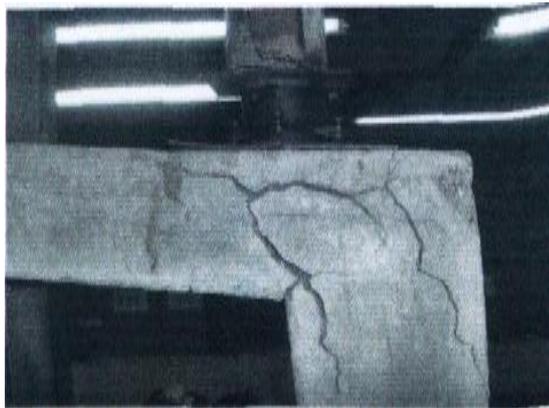
- ¹⁵ Generar deformaciones y esfuerzos que provoquen daños en elementos no estructurales: instalaciones, elementos de cierre y de división.
- Comprometer la estabilidad de la totalidad o de partes de una construcción consideradas como cuerpo rígido (deslizamiento, vuelco).
- Hacer que en alguno de sus elementos estructurales, se superen los estados límites de fisuración, de estabilidad elástica - efectos de segundo orden, de resistencia y/o de ductilidad.

15

Tipos de daños en elementos de estructuras de hormigón armado

En construcciones con un adecuado diseño estructural y una ejecución cuidadosa, aún bajo sismos severos, sufren daños leves. Ellos se manifiestan como grietas verticales e inclinadas en las columnas y en las vigas como se aprecia en la Foto 27.

Foto 27 Grietas de flexión y corte.



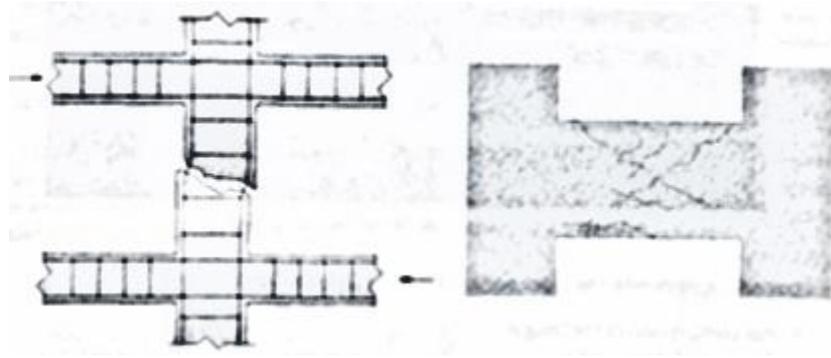
Fuente: Raúl Husni

Los daños se pueden agrupar según el motivo de la falla en:

- Por compresión del hormigón: exceso de sollicitación
- Por corte del hormigón: exceso de sollicitación (Registrado en las estructuras de Cuenca tras el sismo)
- Escasez de armadura o pérdida de su anclaje: refuerzo mal concebido o ejecutado (Registrado en las estructuras de Manta tras el sismo)

Las columnas gruesas, como las vigas cortas (Fig. 22) son vulnerables a las fallas típicas originadas por los esfuerzos de corte.

Figura 22 Falla de corte en columna gruesa (Izq.) y Falla por corte en viga corta (der).



Fuente:Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España

El debilitamiento de la unión acero-hormigón representa una falla frágil y su consecuencia es similar a una excesiva deformación de la armadura.

Las razones más comunes de daños y colapsos de construcciones aporticadas son:

- Error en la concepción de la estructura o de su cimentación.
- Detalles inadecuados, especialmente de armado en las uniones.
- Pobre calidad del trabajo realizado en el armado, corte o disposición de los aceros y del hormigón incorporado.
- Sobrecargado de la estructura.

2.1.10 Criterios de Durabilidad

En los últimos años ha crecido el número de estructuras de hormigón armado ya sea por una o varias de las acciones mencionadas anteriormente o simplemente por el envejecimiento precoz de las mismas.

La pérdida de protección natural ofrecida a la armadura por el recubrimiento de hormigón puede darse a través de diversos mecanismos siendo preponderantes la despasivación por carbonatación y por elevadas concentraciones de iones cloruros. En ambos casos, la mayoría de las veces, todo el componente

estructural es atacado por el ambiente extremo generado por los desechos líquidos y gaseosos producidos por la sociedad.

El ACI 318, el ACI 365 introdujeron nuevos capítulos específicos que permiten una previsión del deterioro de las estructuras de hormigón armado a través de modelos de comportamiento que viabilizan proyectar para la durabilidad y no apenas para la resistencia mecánica y seguridad estructural.

El manejo del problema de durabilidad de las estructuras de hormigón implica responder las siguientes preguntas generales:

- ¿Cuáles son los mecanismos de envejecimiento de las estructuras de hormigón armado?
- ¿Cómo clasificar el medio ambiente en cuanto a su agresividad contra la armadura y contra el hormigón?
- ¿Cómo clasificar el hormigón en cuanto a su resistencia a los diferentes medios agresivos?
- ¿Cuál es la correspondencia entre la agresividad del medio y la resistencia al deterioro y al envejecimiento de la estructura de hormigón?
- ¿Cuál es la definición de vida útil?

2.1.10.1 Mecanismos de Envejecimiento y Deterioro

Corresponde todas las acciones detalladas anteriormente, dentro de las cuales recordaremos las más comunes producidas por:

- Lixiviación y eflerescencia
- Expansión por sulfatos
- Expansión álcali-agregado
- Despasivación por carbonatación.
- Despasivación por elevada concentración de Ion cloro (cloruro)

2.1.10.2 Clasificación de la Agresividad del Ambiente

La clasificación de la agresividad del ambiente en las estructuras de hormigón armado y pos tensado, puede ser evaluada según las condiciones de exposición de la estructura o de sus partes, conforme a lo presentado en la Tabla 3.

Tabla 3 Agresividad del ambiente

Clase	Agresividad	Tipo de ambiente para efecto de proyecto	Riesgo de deterioro de la estructura	pH	CO ₂ agresivo mg/L
I	Débil	Rural / Sumergida	Insignificante	>6,0	<20
II	Moderada	Urbana	Pequeño	5,9 - 5,0	20 - 30
III	Fuerte	Marina / Industrial	Grande	5.0-4,5	30 - 100
IV	Muy fuerte	Industrial / zona de marea	Elevado	>4,5	> 100

Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *Corrosion of metals in concrete*. ACI Committee 222.

2.1.10.3 Clasificación de los Hormigones de acuerdo al grado de durabilidad

La resistencia del hormigón a los diferentes medios agresivos depende de:

- Tipo y contenido de cemento
- Tipo y contenido de adiciones
- Relación agua / material cementante
- Naturaleza y tamaño máximo del agregado

Con la finalidad de evitar el envejecimiento precoz y satisfacer las exigencias de durabilidad de los usuarios, deben ser observados los siguientes criterios de proyecto:

- a) Prever drenaje eficiente.
- b) Evitar formas arquitectónicas y estructurales inadecuadas.
- c) Garantizar hormigón de calidad apropiada, particularmente en las regiones superficiales de los elementos estructurales.

- d) Garantizar espesor de recubrimiento apropiados
- e) Controlar la fisuración de los elementos.
- f) Prever espesores de sacrificio o revestimientos protectores en regiones bajo condiciones de exposición ambiental muy agresivas.
- g) Definir un plano de inspección y mantenimiento preventivo.

La calidad potencial del hormigón depende preponderantemente de la relación agua/ cemento y del grado de hidratación. Son esos los dos principales parámetros que rigen las propiedades de absorción capilar del agua, de permeabilidad por gradiente de presión de agua o de gases, de difusión de agua o de gases, de migración de iones, así como la mayoría de las propiedades mecánicas tales como: módulo de elasticidad, resistencia a compresión, a tracción, fluencia, relajación, abrasión, y otras. Además, el vaciado, la compactación y principalmente el curado tienen un efecto muy importante en las propiedades de difusión, permeabilidad y absorción capilar de agua y gases.

Se debe dar preferencia a adiciones y a aditivos apropiados para resistir la agresividad ambiental, en función de la naturaleza de esa agresividad. Para minimizar el riesgo de reacciones álcali-agregado son preferibles los cementos puzolánicos. Para reducir la profundidad de carbonatación son preferibles los cementos tipo común y de alta resistencia inicial sin adiciones, y, para reducir la penetración de cloruros son preferibles los cementos con adiciones tipo escoria de alto horno y puzolanas con adición extra de sílice activa, o meta caolín.

La calidad efectiva del hormigón superficial de recubrimiento y protección de la armadura depende de la adecuación del encofrado, del aditivo desmoldante y, principalmente del curado de esas superficies.

A continuación muestro la Tabla 4 y 5 en donde se detalla criterios a la hora de diseñar hormigones.

Tabla 4 Clasificación del hormigón frente al riesgo de corrosión del acero de refuerzo.

Tipo	Resistencia f'c (kg/cm2)	Máxima relación a/c	Deterioro por Carbonatación	Deterioro por Cloruros
			% de Adiciones	% de Adiciones
durable	≥C50 f'c= 500	<0,38	≤ 10% puzolana, sílice activa, meta caolín o escoria de alto homo	≥ 20% puzolana, sílice activa, o meta caolín
resistente	C35 f'c= 350 C40 f'c= 400 C45 f'c= 450	<0,50	≤ 10% puzolana, sílice activa, o meta caolín ≥ 15% de escoria de alto horno	≥ 10% de puzolana, sílice activa, o meta caolín ≥ 35 % de escoria de alto horno
normal	C25 f'c= 250 C30 f'c=300	<0,62	Cualquiera	Cualquiera
atacable	C10 f'c=100 C15 f'c=150 C20 f'c=200	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Corrosion of metals in concrete. ACI Committee 222.

Tabla 5 Clasificación del hormigón frente al riesgo de deterioro por lixiviación o por formación de compuestos expansivos

Tipo	Resistencia f'c (MPa)	Deterioro por Expansión y lixiviación	
		% de C ₃ A en el Cemento Anhidro	% de Adiciones
durable	≥C50 f'c= 500	≤5%	≥20% de puzolana o sílice activa, o meta caolín ≥ 65% de escoria de alto homo
resistente	C35 f'c= 350 C40 f'c= 400 C45 f'c= 450	≤5%	≥10% de puzolana o sílice activa, o meta caolín ≥ 35 % de escoria de arto horno
normal	C25 f'c= 250 C30 f'c=300	≤8%	cualquiera
atacable	C10 f'c=100 C15 f'c=150 C20 f'c=200	cualquiera	cualquiera

Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Corrosion of metals in concrete.** ACI Commitee 222.

2.1.10.4 Agresividad del medio versus durabilidad

La relación directa entre agresividad del medio y durabilidad del hormigón se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6 Agresividad vs Tipo de hormigón

Ciase de agresividad	Hormigón recomendable
I débil	Atacable, normal, resistente o durable
II moderada	normal, resistente o durable
III fuerte	resistente o durable
IV muy fuerte	Durable

Fuente: investigación

2.1.10.5 Definición de Vida Útil

Las estructuras de hormigón deben ser proyectadas, construidas y utilizadas de modo que sobre las condiciones ambientales actuales y respetadas las condiciones de mantenimiento preventivo, conserven su seguridad, estabilidad, aptitud en servicio y apariencia aceptable, durante un período prefijado de tiempo, sin exigir medidas extras de mantenimiento y reparación.

Normalmente este tiempo necesario para que el frente de carbonatación o el frente de cloruros lleguen a la armadura y el momento en que aparecen manchas en la superficie del concreto, ocurren fisuras en el concreto de recubrimiento, o aun cuando hay desprendimiento del hormigón del recubrimiento se lo conoce como Vida Útil.

Tabla 7 Tiempo estimado de Vida útil de estructuras

Tiempo Estimado de durabilidad	
<i>vida útil</i>	<i>tipo de estructura</i>
≤10 años	Temporales
≥ 10 años	Sustituibles
≥ 30 años	edificios industriales y reformas
≥ 60 años	edificios nuevos y reformas de edificios públicos
≥ 120 años	obras de arte y edificios públicos nuevos

Fuente: investigación

2.2. MARCO CONCEPTUAL

La variable dependiente tiene que ver con los ensayos que se realizarán a la estructura y que serán muy útiles al momento de la diagnosis, para determinar con exactitud las causas del problema y la mejor manera de intervenir.

- **Ensayos no destructivos.-**

Este tipo de ensayos originan poco daño a la estructura evaluada y como no dañan la zona en la que se realizó la intervención, pueden repetirse en el mismo lugar o en una zona muy próxima, permitiendo el seguimiento del estudio.

- **Extracción y ensayo de núcleos testigos.-**

La extracción de núcleos se utiliza para estimar la resistencia del hormigón en la estructura y está influenciada directamente por las condiciones de colocación, compactación y curado. No es la resistencia intrínseca del hormigón.

La elección del lugar de extracción del testigo dependerá del propósito del ensayo (verificación de resistencia, evaluación de daños, presencia de hormigueros, espesor de estructuras, entre otros.).

Este ensayo se realiza en los siguientes casos:

- 1) Cuando no se dispone de ensayos sobre probetas moldeadas.
- 2) Cuando los resultados del control no cumplen con los requisitos de aceptación exigidos.
- 3) Para verificar la compacidad.
- 4) Cuando el resultado de los testigos es errático, se dispone de una nueva extracción.
- 5) Cuando no afecte la capacidad resistente ni estructural.
- 6) Para aportar información adicional sobre uniformidad y posición de las armaduras.

Para la extracción y ensayo de testigos se debe tener en cuenta la edad del hormigón, corrección por esbeltez, dirección de la extracción respecto de la de llenado, presencia de armadura (área de hierro no mayor al 4% del área del testigo sección transversal. Además de las siguientes consideraciones:

- 1) Las dimensiones de los testigos: diámetro > 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado.

- 2) Diámetro > 75 mm Relación de esbeltez (altura /diámetro) comprendida entre 1 y 2.
- 3) Extracción mínima de 3 testigos por elemento estructural o zona con hormigón de calidad no satisfactorio.
- 4) Extracción mínima de 15 testigos cuando se desee evaluar la calidad del hormigón de toda la estructura.

Foto 28 Extracción de testigos de hormigón



Fuente: Autor

- **Ultrasonido.-**

Se basa en la relación que existe entre la velocidad de pulso y las propiedades elásticas. Permite evaluar indirectamente la calidad del material.

Su desempeño se basa en tres tipos de ondas:

- 1) Longitudinal (compresión) son más rápidas y las usadas para ensayos de evaluación.
- 2) Transversal (corte)
- 3) Superficial

- **Esclerometría.-**

Es la relación entre dureza superficial y la energía devuelta por el material al someterlo al impacto. Es una medida arbitraria: depende de cada equipo.

USOS: Permite estimar resistencias cuando existe la correlación con resultados obtenidos sobre testigos extraídos de la misma obra y sector. Como ensayo complementario (NO SUBSTITUTO). Comparando con sectores sobre los que exista certeza de su resistencia a compresión obtenida de los ensayos de control de recepción (probetas moldeadas).

Foto 29 Ensayo esclerométrico



Fuente: Autor

- **Pull-Out.-**

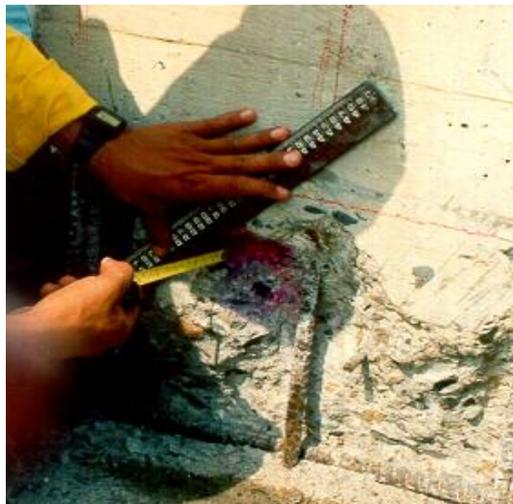
Mide la fuerza necesaria para arrancar un inserto metálico colocado previamente en la estructura. El inserto es arrancado conjuntamente con una porción de hormigón de forma troncocónica.

Existe buena correlación experimental con la resistencia a compresión. El estado tensional sobre el trozo de hormigón arrancado es en las 3 direcciones (radiales y circunferenciales en tracción, y de compresión sobre la superficie del cono). Consecuentemente el resultado del ensayo se mide en unidades de Fuerza (kN). La norma ASTM C 900-87 establece la relación entre la profundidad del inserto y el diámetro del anclaje, como así también la relación entre el diámetro del anillo de apoyo y el diámetro del anclaje para garantizar un ángulo de fractura del hormigón entre 54 y 70°.

- **Carbonatación.-**

La carbonatación es un proceso lento que ocurre en el hormigón, donde la cal apagada (hidróxido cálcico) del cemento reacciona con el dióxido de carbono del aire formando carbonato cálcico. Esta reacción, necesariamente se produce en medio acuoso, ya que el dióxido de carbono reacciona con el agua formando ácido carbónico, éste reaccionará con el hidróxido de calcio, obteniendo como resultado el carbonato de calcio y agua. Dado que la carbonatación provoca una bajada de pH (ácido) esto puede llevar a la corrosión de la armadura y dañar la construcción.

Foto 30 Ensayo de carbonatación



Fuente: Autor

- **Detección de acero de refuerzo.-**

La auscultación es un proceso en el cual se detecta la profundidad, espaciamiento y dimensión de las barras de acero embebidas en el Hormigón. Este proceso es realizado por un escáner de alta tecnología comúnmente llamado "Pachómetro".

En la industria de la construcción el localizar barras de refuerzo metálicas y tuberías de metal en las estructuras de Hormigón es esencial en el proceso de mantenimiento y más aún en el proceso de reparación y reforzamiento de estructuras.

Contar con la información de las barras de acero efectivamente existentes en la estructura es una información vital para los ingenieros encargados que realizan el proceso de cálculo y revisión de la estructura.

Por otra parte, antes de llevar a cabo cualquier trabajo de mantenimiento o reparación, es vital el identificar la localización, orientación y grosor de la cobertura del hormigón sobre las barras de refuerzo metálicas.

También es muy útil el establecer cuáles son las condiciones existentes de las estructuras metálicas e identificar las posibilidades de corrosión.

El proceso de detección de la barras determina el grosor de ésta en mm, espaciamiento y recubrimiento de hormigón. En algunos casos especiales se puede requerir la inserción de una sonda profunda para la detección de las barras que se encuentran con un recubrimiento mayor. El escáner es comúnmente utilizado para la identificación de pasadas de ductos en hormigón de tal forma que las perforaciones, generalmente realizadas con testigueras, no corten barras de refuerzo estructural.

Foto 31 Detección de armaduras



Fuente: Autor

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.3.1. Norma Ecuatoriana de la Construcción INEN

La Norma Ecuatoriana de la Construcción forma parte de las Normas del Hábitat y Vivienda del Ministerio de Urbanismo y Vivienda del Ecuador. La aplicación de esta normativa es de carácter obligatorio en todo el territorio nacional.

En el capítulo 4 de esta norma se trata de las estructuras de hormigón armado desde el artículo 4.1 al 4.11

Detalla lo siguiente en el artículo 4.1.1.1 “Los elementos estructurales de hormigón armado deben cumplir con las especificaciones vigentes del Comité 318 del Instituto Americano del Concreto (Código ACI-318), excepto en lo referente a su capítulo "Estructuras Sismo Resistentes", en las partes que es sustituido por este.”

Artículo 4.1.2.1 “Los materiales utilizados deben cumplir con las especificaciones del Capítulo 1. La resistencia mínima especificada del hormigón a la compresión debe ser 21 MPa y la resistencia máxima especificada a la compresión para elementos de hormigón liviano debe ser 35 MPa.”

Artículo 4.11 Control de calidad en la construcción de obras de hormigón armado.

“Los procedimientos de control de calidad en las obras de hormigón armado se ejecutan a través de las acciones de supervisión o inspección, teniendo estas actividades como único objetivo verificar que la estructura cumpla con las normas y reglamentos vigentes de construcción.”

“Las obras de construcción y los elementos fabricados de hormigón armado deben cumplir con las tolerancias de ubicación, alineamiento, dimensiones y otras especificadas en el documento ACI 117: “Tolerancias para materiales y construcciones de hormigón”, a menos que estas tolerancias se especifiquen en los documentos del proyecto. El hormigón colocado en toda obra de hormigón armado debe cumplir con la especificación ACI 301 para hormigón estructural.”

“Al inicio de toda construcción se debe definir claramente cada una de las responsabilidades y facultades de todas las partes involucradas, así se evita la necesidad de precisar quién es el responsable, después de que el hormigón ha sido colocado y ha presentado algún problema.”

2.3.2. Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos generales de diseño

Disposiciones Generales desde el capítulo 4.1 hasta el 4.15.

Capítulo 4.1 Generalidades

Como premisa fundamental es necesario contar con un documento actualizado para el cálculo sismo-resistente de estructuras que refleje lo que se conoce actualmente de la realidad sísmica del Ecuador, y que permita, por un lado, poner al alcance de los calculistas y diseñadores herramientas sencillas de cálculo utilizando conceptos actuales de Ingeniería Sísmica, y por otro, permitiendo que el diseñados conozca claramente las hipótesis de cálculo y tome conciencia de la responsabilidad que implica tomar ciertas decisiones a la hora de aceptar tales hipótesis.

2.3.3. ACI AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

El instituto en general, así como los comités, operan utilizando procedimientos de consenso, lo cual garantiza a todos los miembros el derecho a que sus puntos de vista sean tenidos en cuenta. Las actividades de los comités incluyen el desarrollo de reglamentos y normas, el análisis de los resultados de investigaciones y desarrollos, la presentación de técnicas de construcción y reparación, y la educación.

Uno de los documentos más útiles al momento de evaluar una estructura es el ACI 318 que más adelante se detalla.

318S-08 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural

Los requisitos de reglamento para concreto estructural cubre el diseño y construcción de concreto estructural en edificaciones y donde sea aplicable en otras construcciones. El reglamento también cumple la evaluación de resistencia de estructuras existentes de concreto reforzado.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 UNIDAD DE ANÁLISIS

Se consideró como unidad de análisis a los directivos principales de las organizaciones con mayor participación e influencia en lo concerniente a la legislación y normativa para la construcción en nuestro país y especialmente en la ciudad de Quito.

3.2 POBLACIÓN

La encuesta se realizará a los representantes de:

1. Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha
2. Cámara de la Construcción Quito
3. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)
4. American Concrete Institute (ACI) Capítulo Ecuador
5. Laboratorio de materiales Pontificia Universidad Católica del Ecuador(PUCE)
6. Laboratorio de materiales Universidad Central del Ecuador (UCE)
7. Laboratorio de materiales Escuela Politécnica Nacional (EPN)

Los profesionales a cargo de estas entidades son de vital importancia para el desarrollo de la investigación, porque muchos de ellos realizan ensayos destructivos y no destructivos, participan en comités para la elaboración de normas y recomendaciones y son parte de los organismos reguladores de la construcción en Ecuador, además que por facilidad se encuentran en la ciudad, lo que facilita el acceso al desarrollo del trabajo.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de campo y cualitativa, porque trabaja directamente con los miembros representantes de las entidades mencionadas, que nos permite establecer conclusiones más asertivas de la presente investigación.

3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En el actual trabajo de investigación se aplica el método inductivo, experimental, analítico, cuantitativo, ya que permite realizar un estudio específico y determinar lo más importante de cada una de las partes encuestadas, para ir de lo más simple a lo complejo, de la causa a los efectos y así construir una base de conocimientos.

3.4.1. Método Inductivo cuantitativo

Este método consiste en recoger y analizar datos cuantitativos particulares al momento de realizar la encuesta sobre las variables tanto directa como indirecta para llegar a conclusiones generales.

3.4.2. Método Experimental

En este trabajo investigativo se desarrolla una investigación de tipo experimental basada en ensayos que permitirá observar los fenómenos y presentar una propuesta, la misma que será administrada por cada profesional o institución de ingeniera civil, quiénes contarán con una guía para resolver problemas de mantenimiento y evaluación de estructuras de hormigón armado que se encuentren en situaciones de atención.

3.4.3. Método de Análisis y Síntesis

“El análisis es la descomposición de algo en sus elementos. El método analítico consiste en la separación de las partes de un todo para estudiarlas en forma individual.”¹⁶

“La síntesis es la reconstrucción de todo lo descompuesto por el análisis”.

Este método se utilizó especialmente en la descomposición de todos los elementos útiles a la hora de verificar la hipótesis, todas las variables que me permitan evidenciar el problema y me ayuden a desarrollar cada uno de los objetivos planteados.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.5.1. Técnicas Indirectas

Como técnicas indirectas usadas en esta investigación fueron los textos bibliográficos, artículos, documentos físicos y electrónicos que permitieron profundizar el resultado de la investigación.

3.5.2. Técnicas Directas

Las técnicas directas utilizadas en esta investigación fueron:

3.5.2.1. La observación

La convivencia con profesionales de la construcción en mi vida laboral me permite conocer los problemas más comunes de las construcciones, sus posibles causas y soluciones, pero sobre todo he podido evidenciar el grave deterioro que sufren las estructuras, los síntomas que presentan y la forma especificada de intervenir,

¹⁶ http://html.metodologia-de-investigacion_1.html

que en la mayoría de los casos ha sido muy superficial y estética, sin tomar en cuenta la vida útil para la que fue diseñada.

3.5.2.2. La encuesta

Una encuesta es un estudio observacional en el cual el investigador busca recaudar datos por medio de un cuestionario prediseñado. Los datos se obtienen a partir de realizar un conjunto de preguntas normalizadas dirigidas a una muestra representativa en estudio, con el fin de conocer estados de opinión, características o hechos específicos.

A continuación se detalla las preguntas previamente diseñadas, que son una mezcla de preguntas abiertas y cerradas:

Pregunta 1.- ¿Usted tiene conocimiento si en Ecuador existe una guía para evaluar estructuras de hormigón y los ensayos necesarios para realizar una diagnosis correcta?

Pregunta 2.- ¿Considera usted que las acciones externas producidas por el ambiente (físicas, químicas y biológicas) afectan la durabilidad de la estructura?
¿Por qué?

Pregunta 3.- ¿Conoce si en los sistemas de reparación especificados en las estructuras actualmente se consideran criterios de durabilidad para prolongar la vida útil considerada?

Podría mencionar algunos:

Pregunta 4.- ¿Usted considera necesario usar ensayos no destructivos para determinar con exactitud la patología de una estructura?

Pregunta 5.- La mayoría de estructuras de hormigón presentan fisuramiento, ya sea en los elementos estructurales o en mampostería. ¿Cuál es a su criterio la principal causa para este apareamiento: los errores de diseño, los errores de ejecución o el cambio de utilización de la edificación? ¿Por qué?

Pregunta 6.- ¿Considera usted que el estudio de reactividad de los agregados combinados con nuestros cementos debe ser obligatorio en todos los proyectos y considerado en las especificaciones?

¿Por qué?

Pregunta 7.- ¿Usted considera que se deben realizar correcciones al código ecuatoriano de la construcción, para no se considere la resistencia del hormigón como un parámetro de especificación sino más bien criterios de durabilidad como: relación a/c máxima, cantidad de cemento mínima, inhibidores de corrección, adiciones?

¿Por qué?

Pregunta 8.- ¿En general usted cree que en Ecuador se realiza un estudio adecuado de las estructuras antes de sugerir el sistema de reparación que garantice por lo menos la vida útil para la que fueron diseñadas?

¿Conoce de alguna entidad que se dedique a esta tarea?

3.6. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Se fundamentó en un análisis de las respuestas dadas en las encuestas, considerando las variables dentro de los cuestionarios y las preguntas de apoyo, las cuales permitieron probar que la hipótesis es verdadera.

3.6.1. Resultados de la encuesta:

A continuación resumiremos los nombres de las personas que colaboraron en el proceso:

Ing. Arturo García	Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha (CICP)
Ing. Hermel Flores	Cámara Construcción de Quito
Ing. José Chacón Toral	ACI Capítulo Ecuador

Ing. Guillermo Realpe	Director Laboratorio Materiales Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)
Ing. Marco Garzón	Encargado Laboratorio de Materiales Universidad Central del Ecuador (UCE)
Ing. Patricio León	Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)
Ing. Diego Monrroy	Laboratorio Materiales Escuela Politécnica Nacional (EPN)

En la tabla de resumen del proceso de tabulación de resultados se utilizará como guía los números de cada una de las preguntas detalladas anteriormente.

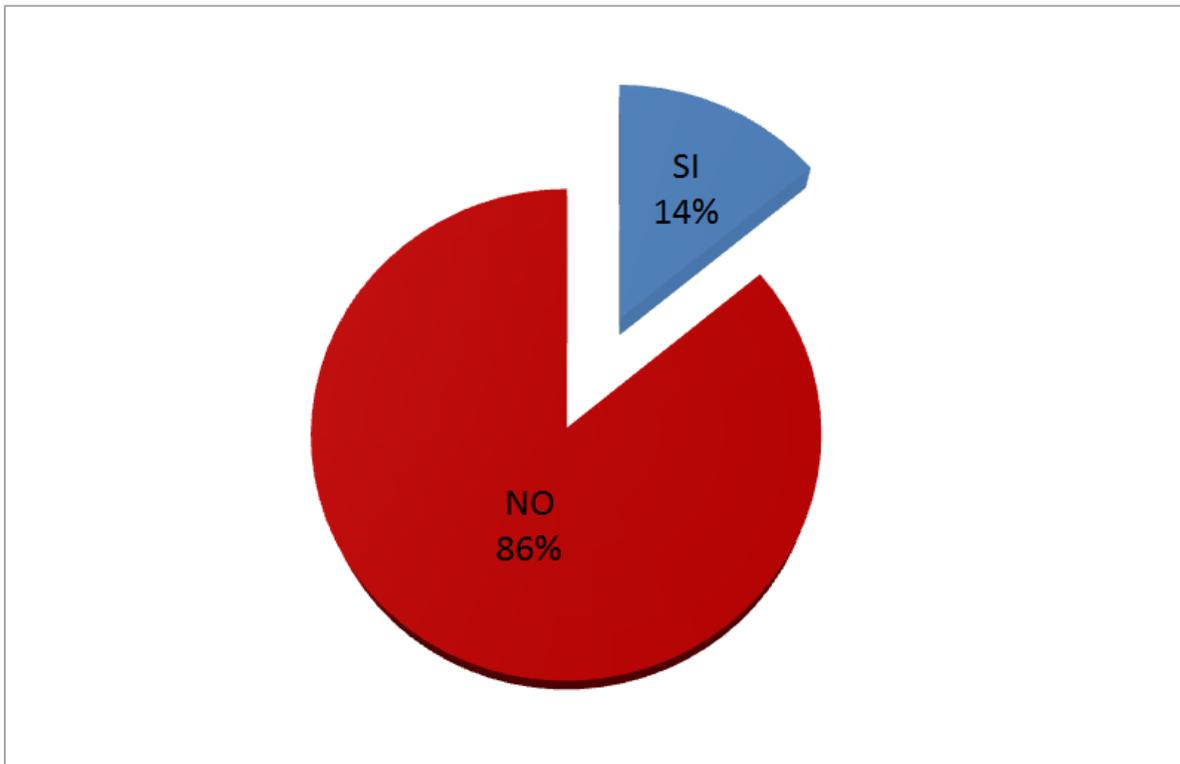
RESULTADOS DE ENCUESTAS

Persona Encuestada	Pregunta. 1	Pregunta. 2		Pregunta. 3		Pregunta. 4
Ing. Arturo García	no	si	originan fisuras, humedad,	no considera	relación a/c	si
Ing. Hermel Flores	no	si	generan problemas estéticos y	en muy pocos casos	resistencia, cantidad a/c	si
Ing. José Chacón Toral	si boletines de durabilidad	si	construcción informal muy	medianamente	resistencia, tipo de cemento, relación	si
Ing. Guillermo Realpe	no	si	las acciones externas son las	no considera	relación a/c, uso de aditivos para	si
Ing. Marco Garzón	no	si	afecta la matriz del cemento	no considera	relación a/c	si
Ing. P. León	no	si		no considera	resistencia	si
Ing. Diego Monrroy	no	si	ataque de cloruros es el más	no considera	resistencia, relación a/c, uso	si
Persona Encuestada	Pregunta. 5		Pregunta. 6		Pregunta. 7	Pregunta. 8
Ing. Arturo García	Errores de diseño	Cambio de uso edificación	si	Evita deterioros	si es importante	no creo
Ing. Hermel Flores	Errores de diseño	Uso de varios códigos	si	Garantiza vida util	si debe proponerse	no
Ing. José Chacón Toral	Errores de ejecución	No existe un código actual se mezcla varias normas y códigos	si	La vida útil se prolonga	si	no
Ing. Guillermo Realpe	Errores de diseño	Falta de control de calidad	si	Disminuye la fisuración, anula efectos explosivos	si	si, PUCE
Ing. Marco Garzón	Errores de utilización	Falta de control de calidad	si		si	no
Ing. P. León	Errores de utilización	Mano de obra empírica	si		si está en revisión	no
Ing. Diego Monrroy	Errores de ejecución	Falta de calidad en los materiales	si	Garantiza estructuras durables	si	no

Pregunta No.1

¿Usted tiene conocimiento si en Ecuador existe una guía para evaluar estructuras de hormigón y los ensayos necesarios para realizar una diagnosis correcta?

RESPUESTAS	
Ing. Arturo García	no
Ing. Hermel Flores	no
Ing. José Chacón Toral	si boletines de durabilidad
Ing. Guillermo Realpe	no
Ing. Marco Garzón	no
Ing. Patricio León	no
Ing. Diego Monrroy	no



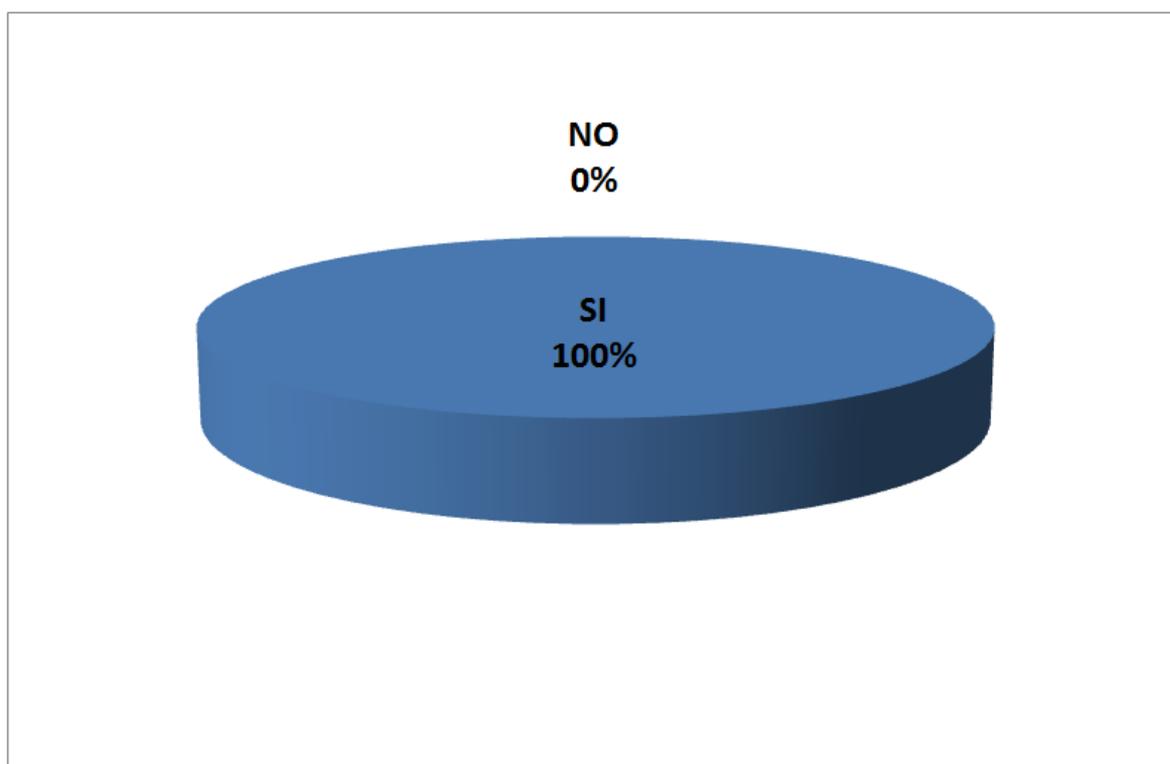
Fuente: Encuestas

Pregunta No.2

¿Considera usted que las acciones externas producidas por el ambiente (físicas, químicas y biológicas) afectan la durabilidad de la estructura?

¿Por qué?

RESPUESTAS		
Ing. Arturo García	si	Originan fisuras, humedad, desprendimientos
Ing. Hermel Flores	si	Generan problemas estéticos y estructurales
Ing. José Chacón Toral	si	Construcción informal muy vulnerable falta de mantenimiento preventivo
Ing. Guillermo Realpe	si	Las acciones externas son las más dañinas efecto irreversible por procesos de humedad
Ing. Marco Garzón	si	Afecta la matriz del cemento
Ing. Patricio León	si	
Ing. Diego Monroy	si	Ataque de cloruros es el más perjudicial reparación genera altos costos



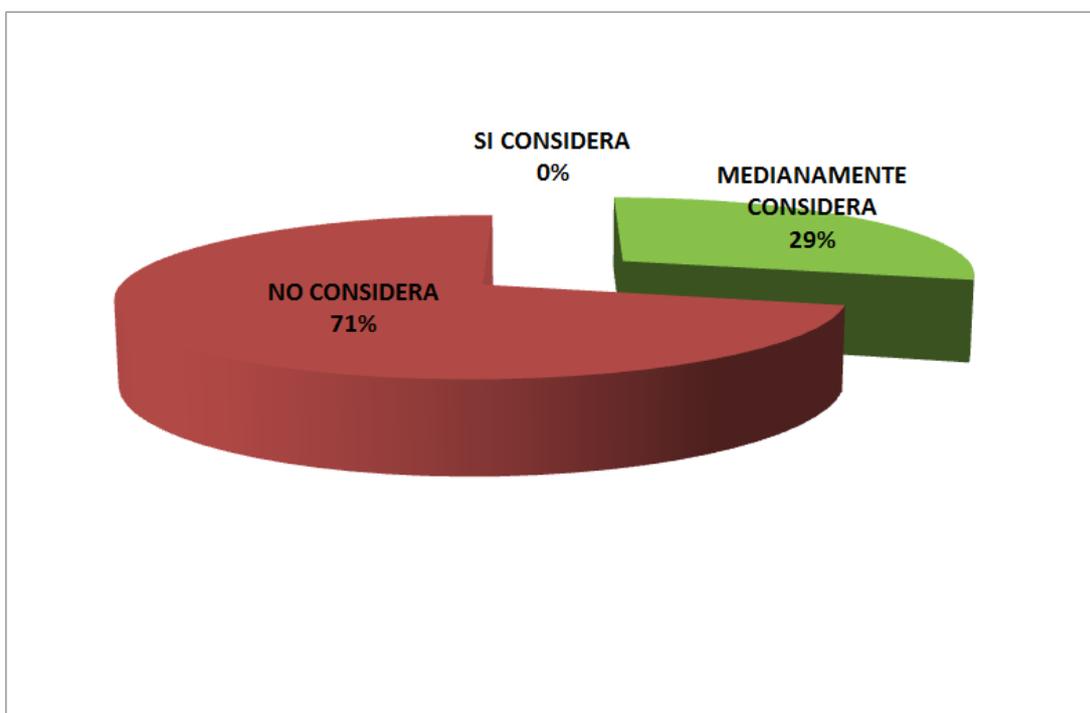
Fuente: Encuestas

Pregunta No.3

¿Conoce si en los sistemas de reparación especificados en las estructuras actualmente se considera criterios de durabilidad para prolongar la vida útil considerada?

Podría mencionar algunos:

RESPUESTAS		
Ing. Arturo García	No considera	Relación a/c
Ing. Hermel Flores	En muy pocos casos	Resistencia, cantidad a/c
Ing. José Chacón Toral	Medianamente	Resistencia, tipo de cemento, relación a/c
Ing. Guillermo Realpe	No considera	Relación a/c, uso de aditivos para lograr propiedades
Ing. Marco Garzón	No considera	Relación a/c
Ing. Patricio León	No considera	Resistencia
Ing. Diego Monrroy	No considera	Resistencia, relación a/c, uso inhibidores

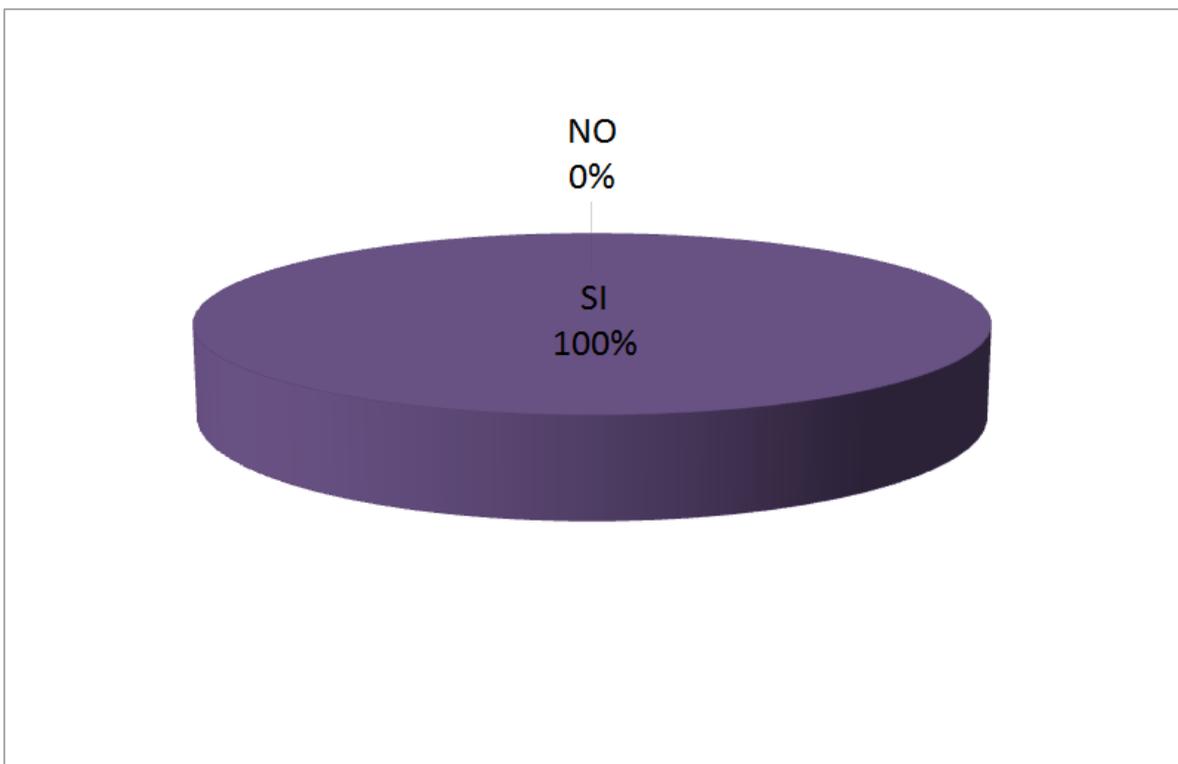


Fuente: Encuestas

Pregunta No.4

¿Usted considera necesario usar ensayos no destructivos para determinar con exactitud la patología de una estructura?

RESPUESTAS	
Ing. Arturo García	si
Ing. Hermel Flores	si
Ing. José Chacón Toral	si
Ing. Guillermo Realpe	si
Ing. Marco Garzón	si
Ing. Patricio León	si
Ing. Diego Monrroy	si

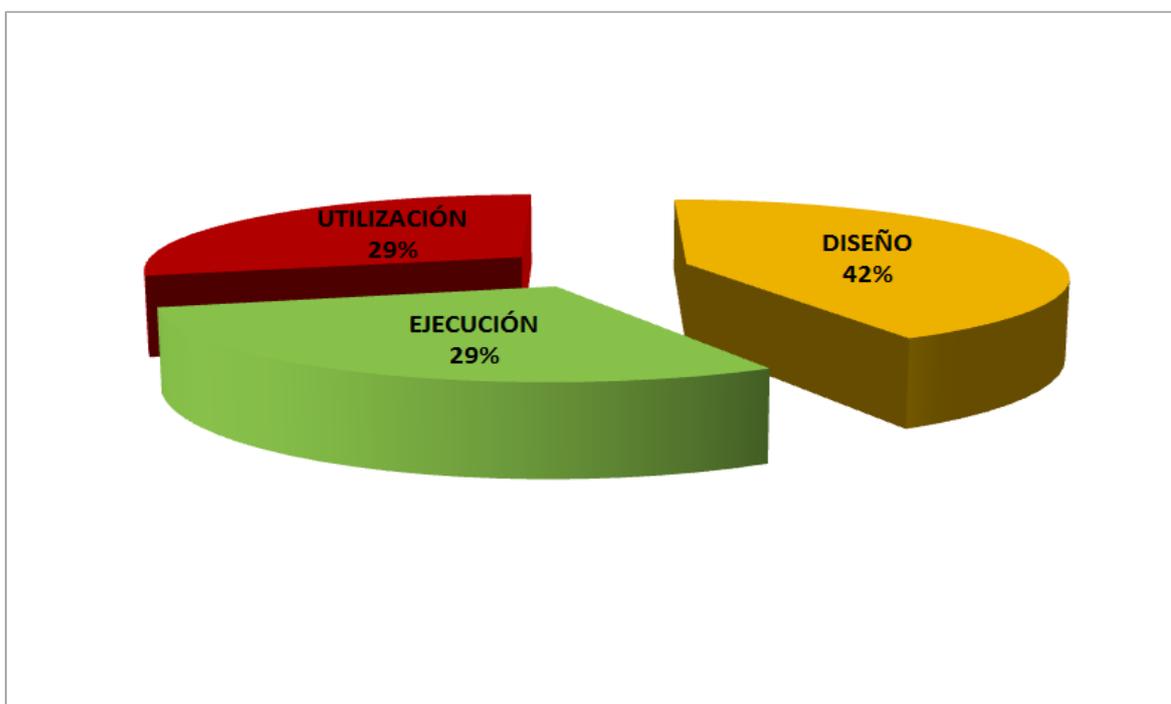


Fuente: Encuestas

Pregunta No. 5

La mayoría de estructuras de hormigón presentan fisuramiento, ya sea en los elementos estructurales o su mampostería. ¿Cuál es a su criterio la principal causa para este apareamiento: los errores de diseño, los errores de ejecución o el cambio de utilización de la edificación?

RESPUESTAS		
Ing. Arturo García	Errores de diseño	Cambio de uso edificación
Ing. Hermel Flores	Errores de diseño	Uso de varios códigos
Ing. José Chacón Toral	Errores de ejecución	No existe un código actual se mezcla varias normas y códigos
Ing. Guillermo Realpe	Errores de diseño	Falta de control de calidad
Ing. Marco Garzón	Errores de utilización	Falta de control de calidad
Ing. Patricio León	Errores de utilización	Mano de obra empírica
Ing. Diego Monrroy	Errores de ejecución	Falta de calidad en los materiales



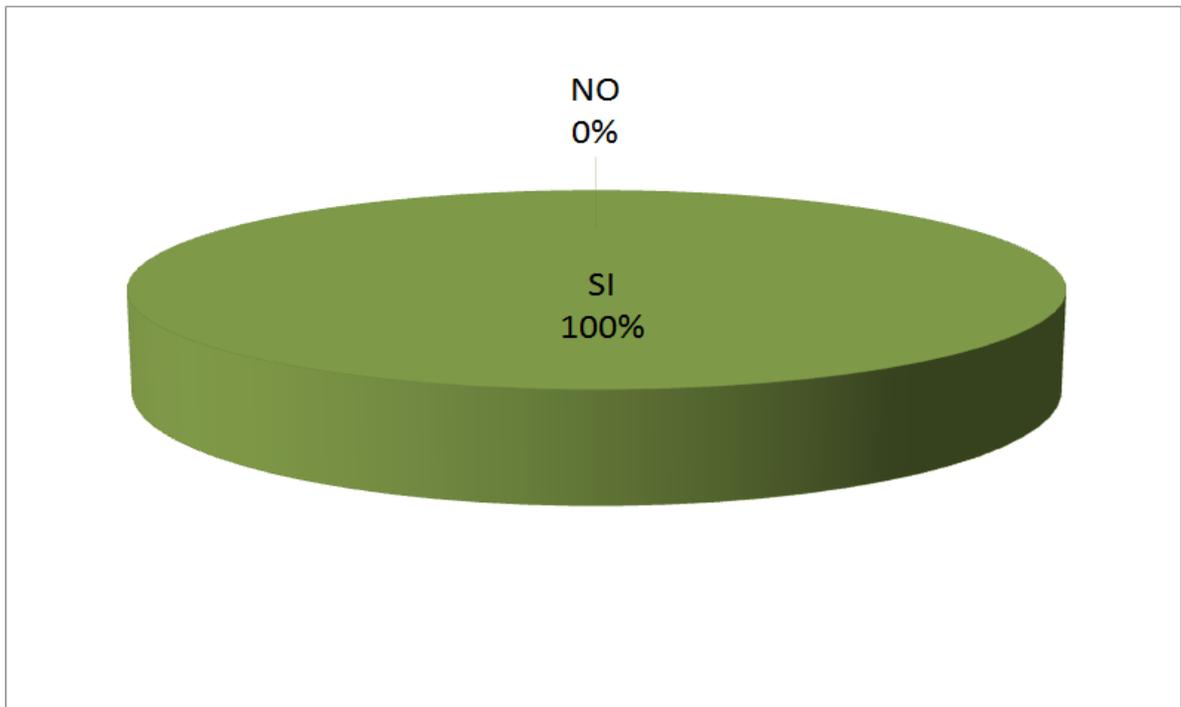
Fuente: Encuestas

Pregunta No.6

¿Considera usted que el estudio de reactividad de los agregados combinados con nuestros cementos debe ser obligatorio en todos los proyectos y considerado en las especificaciones?

¿Por qué?

RESPUESTAS		
Ing. Arturo García	si	Evita deterioros
Ing. Hermel Flores	si	Garantiza vida útil
Ing. José Chacón Toral	si	La vida útil se prolonga
Ing. Guillermo Realpe	si	Disminuye la fisuración, anula efectos explosivos
Ing. Marco Garzón	si	
Ing. Patricio León	si	
Ing. Diego Monrroy	si	Garantiza estructuras durables

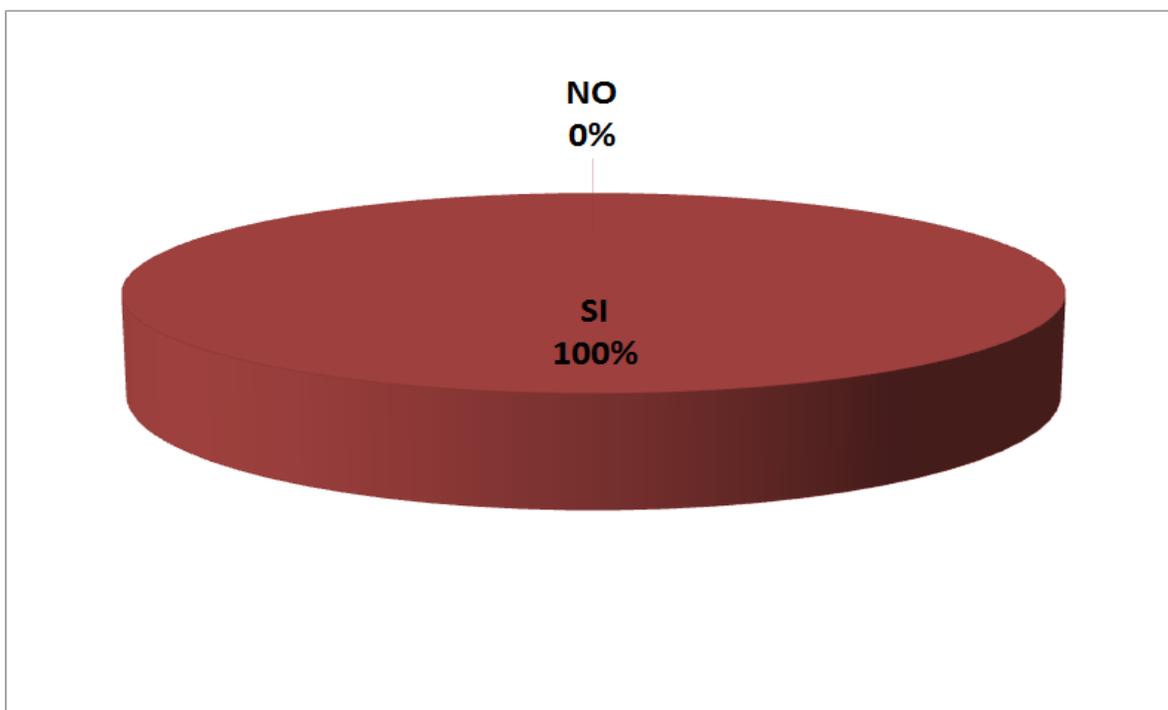


Fuente: Encuestas

Pregunta No. 7

¿Usted considera que se debe realizar correcciones al código ecuatoriano de la construcción, donde no se considere la resistencia del hormigón como un parámetro de especificación sino más bien criterios de durabilidad como: relación a/c máxima, cantidad de cemento mínima, inhibidores de corrección, adiciones?
¿Por qué?

RESPUESTAS	
Ing. Arturo García	si es importante
Ing. Hermel Flores	si debe proponerse
Ing. José Chacón Toral	si
Ing. Guillermo Realpe	si
Ing. Marco Garzón	si
Ing. Patricio León	si está en revisión
Ing. Diego Monrroy	si



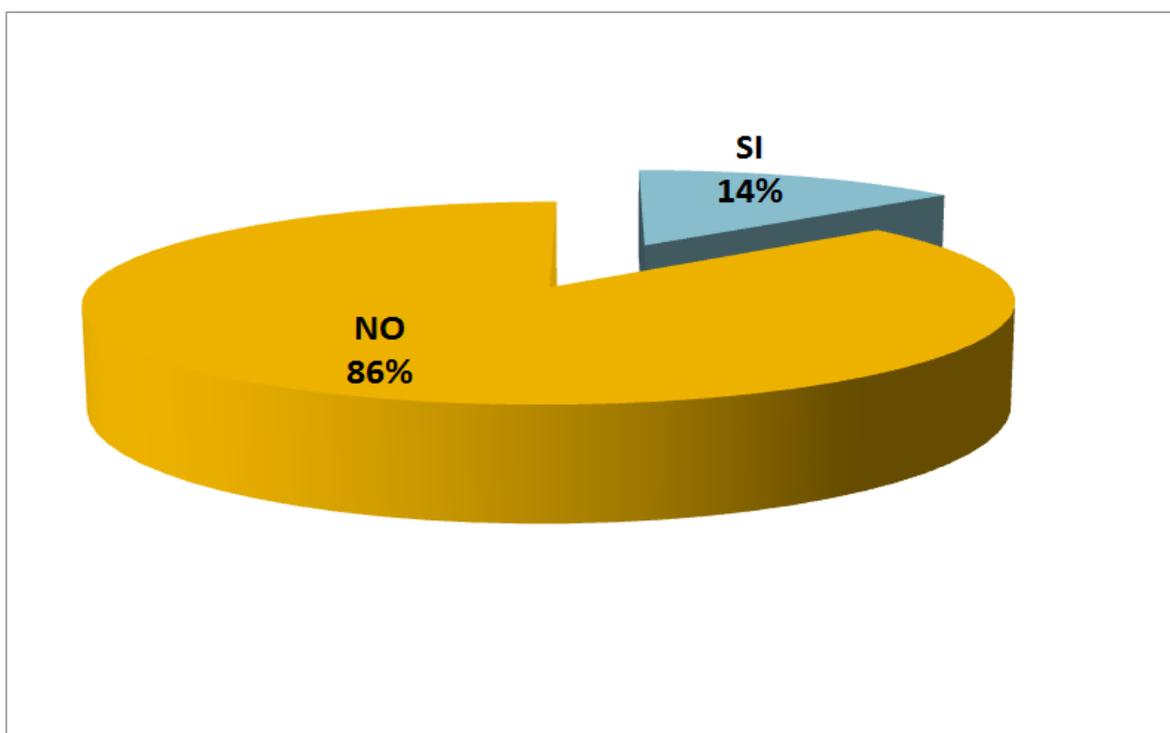
Fuente: Encuestas

Pregunta No.8

¿En general usted cree que en Ecuador se realiza un estudio adecuado de las estructuras antes de sugerir el sistema de reparación que garantice por lo menos la vida útil para la que fue diseñado?

¿Conoce de alguna entidad que se dedique a esta tarea?

RESPUESTAS	
Ing. Arturo García	no creo
Ing. Hermel Flores	no
Ing. José Chacón Toral	no
Ing. Guillermo Realpe	si, PUCE
Ing. Marco Garzón	no
Ing. Patricio León	no
Ing. Diego Monrroy	no



Fuente: Encuestas

3.6.2. Conclusiones:

- El 100% de los encuestados coinciden que en nuestro país no se cuenta con una guía que permita realizar una patología confiable de las estructuras dañadas.
- Coinciden que las acciones externas, especialmente las condiciones ambientales, contribuyen al deterioro de las edificaciones, en mayor o menor grado dependiendo de su diseño, tipo de construcción (que en la mayoría de los casos es informal) y materiales usados. Además consideran que la falta de mantenimiento preventivo contribuye al deterioro de las estructuras.

A continuación detallo algunos de los daños considerados por los entrevistados:

- Fisuras y desprendimientos
 - Presencia de humedad en paredes y techos
 - En muchos casos se puede ver efectos del ataque de cloruros y corrosión
 - Problemas estéticos y de funcionalidad
- Se ratificó que en general la edad de las edificaciones no es un sinónimo de deterioro, existen factores mucho más importantes que evaluar como los materiales usados, los conceptos de diseño, el plan de mantenimiento y el sistema constructivo empleado para proyectar la vida útil o el tiempo de intervención para evitar el colapso.
 - El 70% de los entrevistados menciona que dentro de las especificaciones para reparar estructuras no se toma en cuenta la durabilidad, sino más bien el costo, funcionalidad y rapidez.

Los criterios mínimos que se debe tomar en cuenta en las especificaciones son:

- Resistencia de la reparación

- Relación a/c
 - Uso de inhibidores de corrosión
 - Tipo de cemento para evitar reacciones álcali-agregado
- Se debería usar ensayos no destructivos de forma generalizada cuando se tenga duda de algún resultado de laboratorio, y siempre que se vaya a emitir un juicio sobre un sistema de reparación a una estructura.
 - Todos los profesionales encuestados consideran que la falta de normativa vigente con información actual de durabilidad y sismicidad, es lo que origina una serie de errores tanto al diseñar como al construir.

Algunos de los errores típicos se resumen a continuación:

- Cambio de uso de la edificación, especialmente con fines económicos.
 - Se utiliza en el diseño mezcla de varios códigos que no son aptos para la realidad local.
 - Uso de mano de obra no calificada
 - Falta de control de calidad en el proceso de construcción
 - Falta de control de calidad de los materiales
- Además consideran necesario y obligatorio el realizar ensayos de reactividad de los agregados con el cemento a usar en la obra así como el uso de cemento puzolánico en todo tipo de construcciones informales, para contrarrestar efectos de expansión y desintegración de la matriz cementante.

Finalmente es importante realizar estudios completos a las estructuras antes de sugerir sistemas de reparación considerando parámetros que garanticen la durabilidad de las obras nuevas y las reparaciones de edificaciones existentes.

CAPITULO IV

4. PROPUESTA

4.1 GUÍA DE EVALUACIÓN DE HORMIGÓN SIMPLE Y ARMADO Y PROPUESTA DE REPARACION

La guía de evaluación descrita a continuación propone dentro de su contexto puntos claramente identificados y en orden cronológico que se desarrollarán conforme el trabajo de intervención avanza.

- Flujo grama de trabajo
- Ensayos no destructivos – usos y limitaciones
- Determinación del índice de vulnerabilidad
- Manifestaciones Típicas – Propuesta de Reparación
- Aplicación: caso de estudio

4.1.1. Flujograma de Trabajo

A continuación presento una secuencia lógica tanto para la evaluación como para la reparación. Este esquema servirá para que el profesional pueda generar un cronograma de inspecciones, ensayos y monitoreo a la estructura, con el fin de conocer con exactitud las enfermedades actuantes.

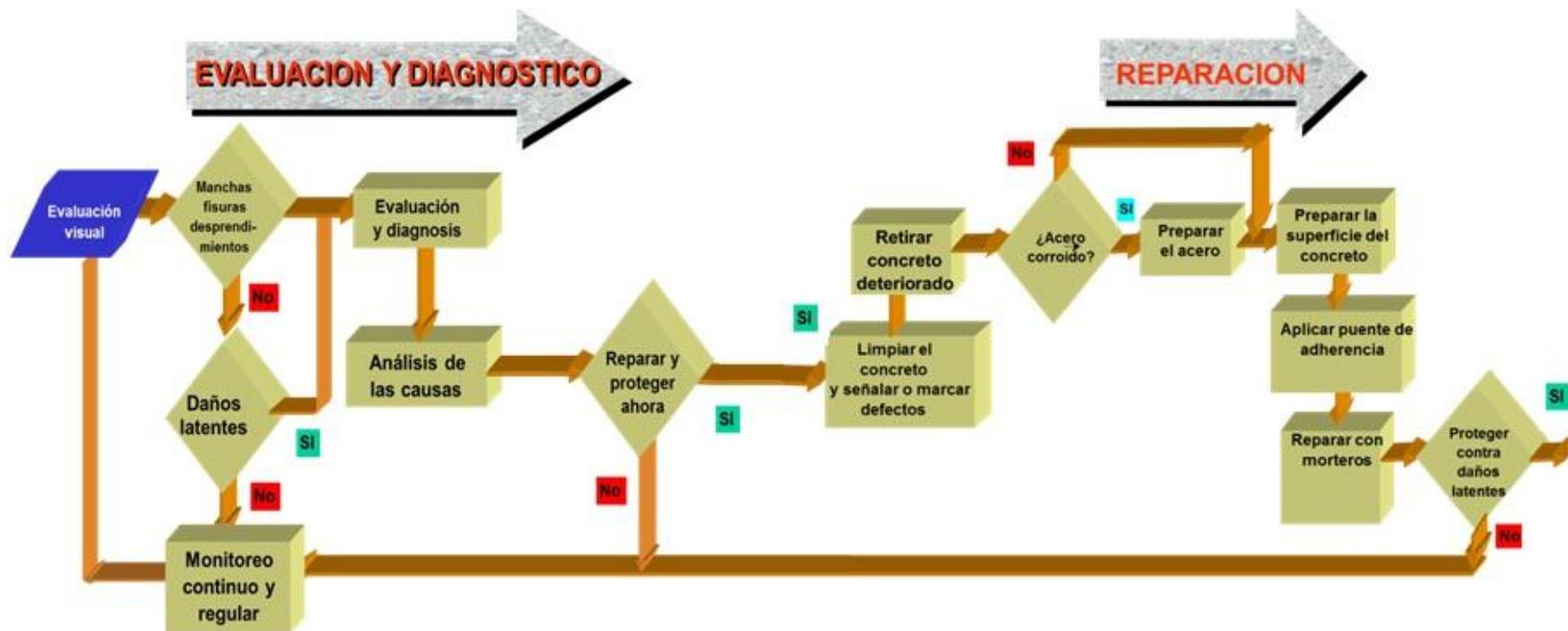
Dentro de este primer paso se realiza una inspección visual rápida de los elementos estructurales y no estructurales para identificar problemas. Para no pasar por alto ningún detalle la información debe ser registrarse en el ANEXO 3.

Además del registro y determinación de daños es importante señalar sobre la estructura ciertos datos que nos ayudarán a clasificarlos dependiendo de la causa. Estos datos pueden ser:

- Longitud de fisura (donde se identifique el inicio y el fin)

- Zonas de desprendimientos de hormigón
- Deflexiones
- Número de fisuras
- Manchas en el hormigón
- Filtraciones si hubieran

Esta información nos proporciona evidencias de juicio para identificar fisuras activas o con movimiento, que generalmente son las que se producen durante la vida de la edificación y fisuras pasivas o sin movimiento que muy probablemente se debieron a procesos de retracción plástica o térmica durante la ejecución de la obra.



4.1.2 Ensayos no destructivos

Con la información anterior, e identificados y señalizados los problemas encontrados en la estructura es hora de empezar a realizar ensayos que nos ayudarán a determinar la patología más acertada.

Los ensayos no destructivos no miden resistencia, son ensayos comparativos, la propiedad medida se correlaciona con resultados de resistencia en testigos, miden otras propiedades relacionadas como: vacíos, fisuras, pérdida de alcalinidad, grado de deterioro.

4.1.2.1 Carbonatación

Foto 32 Efecto fenolftaleina



Fuente: Autor

Interpretación de resultados:

Dependiendo del reactivo usado:

- Fenolftaleína: si el hormigón presenta un PH mayor que 10, la coloración será rosa.
- Timol ftaleína: si el hormigón presenta un PH mayor que 7, la coloración será azul.

Es conveniente el uso de estos dos reactivos para situar el PH más cercano a la realidad, especialmente cuando se realice una re-alkalinización con inhibidores de corrosión por impregnación o migración.

4.1.2.2 Esclerometría

Foto 33 Disparos con esclerómetro



Fuente: Autor

Antes de realizar este ensayo es conveniente tener en cuenta las siguientes limitaciones, que evitarán emitir criterios erróneos o resultados lejanos a la realidad:

- No existe relación teórica entre el número del valor ($N^{\circ}R$) obtenido de la lectura del equipo y la resistencia a compresión, pero si permite determinar correlaciones propias de cada tipo de hormigón.
- La rugosidad superficial tiene un papel predominante por cuanto la mejor terminación aumenta el $N^{\circ}R$.

- Sobre una superficie seca el valor N^oR aumenta, por tanto al disparar sobre estructuras hidráulicas es conveniente buscar puntos secos para correlacionar los valores.
- La temperatura ambiente también influye al momento de realizar el ensayo pues: temp < 0°C aumenta el N^oR.
- La carbonatación del hormigón aumenta el N^oR, por tanto es imprescindible antes de realizar esclerometría determinar si el hormigón está carbonatado. Si determinamos que el hormigón está carbonatado no aplica el ensayo de esclerometría.
- La dirección del disparo (ángulo de aplicación) también afecta el N^oR ya que la gravedad influye sobre la masa interna del martillo. Se debe utilizar la curva propia del fabricante en función del ángulo de disparo.
- El ensayo mide la dureza superficial del hormigón, es decir solo evalúa los primeros 3 cm de espesor.
- El tipo de agregado usado en la mezcla del hormigón también ejerce influencia pues a mayor dureza aumenta el N^oR.

Por la variabilidad de los resultados se sugiere medir por zonas generando cuadrículas de 180 cm² con puntos de aplicación distanciados aproximadamente 3 cm.

La cantidad de lectura mínima o puntos de aplicación por zona es 9 (nueve) y debemos descartar lecturas que difieran en ± 5 unidades respecto del promedio con lo cual determinamos la zona confiable compuesta de 6 lecturas para generar el promedio real.

Interpretación de resultados:

Los resultados obtenidos no necesariamente indican la resistencia del hormigón, más bien determinan homogeneidad en las diferentes porciones del colado en cada uno de los elementos estructurales.

Para evaluar resistencia es conveniente calibrar el equipo con probetas cilíndricas tomadas en obra y ensayadas en laboratorio.

4.1.2.3 Potencial de corrosión

Foto 34 Medición de potencial de corrosión



Fuente: Autor

Interpretación de resultados:

Los resultados obtenidos generan un mapa de posibilidades para identificar corrosión generalizada en todo el elemento o ataques puntuales conocidos como corrosión por picado.

El mapa de posibilidades revela la necesidad de aplicar inhibidores de corrosión tipo impregnación que incrementen la pasivación de la armadura de refuerzo o simplemente se realicen reparaciones puntuales en los lugares afectados.

4.1.2.4 Cohesividad del sustrato

Foto 35 Ensayo Sattec



Este ensayo es superior al de Esclerometría por el mayor volumen de hormigón en contacto y la mayor profundidad involucrada en esta determinación.

Como aspectos negativos se destacan la preparación de la superficie debe realizarse con equipo mecánico para eliminar materiales adheridos, contaminación y lechada superficial, además en la zona del ensayo se debe reparar el hormigón.

Interpretación de resultados:

Del ensayo se puede correlacionar el valor de cohesividad superficial con la resistencia a la compresión, además de determinar el tipo de falla entre la pastilla testigo y el hormigón.

Con estos resultados se puede precisar si los sistemas de preparación de la superficie son los óptimos para recibir los productos de reparación y reforzamiento.

En caso de contaminación de la superficie se utiliza para determinar si el grado de limpieza solicitado se cumple a satisfacción.

Es un ensayo muy útil a la hora de determinar la eficiencia de los puentes de adherencia o ligantes usados en las reparaciones.

4.1.2.5 Pulso ultrasónico

Foto 36 Ensayo ultrasonido



Fuente: Autor

Los factores que afectan al ensayo y que debemos tener en cuenta al momento de realizarlo son:

- La rugosidad del sustrato puede influenciar en la lectura, para garantizar el contacto se debe usar grasa para evitar aire atrapado. En zonas de elevada rugosidad se debe pulir la superficie con medios mecánicos.
- Se debe evitar que se realice el ensayo en nidos de abeja u hormigueros pues la velocidad (V) de la onda depende de la longitud del recorrido: la V baja si la longitud aumenta.
- Entre 5° a 30°C la $V = \text{cte}$. Si $T > 30^{\circ}\text{C}$ la V disminuye. Si $T < 0^{\circ}\text{C}$ la V aumenta.
- La V aumenta si la humedad aumenta y V aumenta si encuentra armadura. En hormigones saturados la V será mayor.}
- La V aumenta a medida que lo hace la resistencia para edades mayores como es el caso de nuestros hormigones por ser puzulánicos.

Interpretación de resultados:

Se puede determinar:

- Resistencia a la compresión, correlacionada con curvas de velocidad de pulso propias del equipo.
- Detección de hormigueros y fallas.
- Profundidad de fisuras
- Espesor de fisuras.

Este ensayo es de mucha importancia para monitorear el comportamiento de las fisuras, antes de determinar el material a usar para llenar la fisura.

4.1.3 Determinación del índice de vulnerabilidad

La vulnerabilidad de una estructura se define como el grado de daño que resulta por la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.

La evaluación del índice de Vulnerabilidad I. V. se realiza en una escala de valores que va desde 0 hasta 110. Para el efecto la estructura en cada indicado se debe clasificar en A, B, C, obteniéndose un valor de clase W. la clasificación no debe ser rígida en el sentido de tratar de encasillar en A, B o C. para un determinado parámetro como se muestra en la tabla 3, por ejemplo, puede ser que la estructura tienda a ser más A que B. por otra parte, cada parámetro tiene un peso W, luego el Índice de Vulnerabilidad I. V. se obtiene con la siguiente ecuación:

$$I.V. = \sum K W$$

Tabla 8 Índice k de vulnerabilidad

PARAMETRO	CLASE			PESO
	A	B	C	W
Pórtico: Hormigón –	0	6	12	1.00
Mampostería	0	6	12	0.50
Calidad del hormigón	0	11	22	1.00
Resistencia convencional	0	2	4	0.50
Posición edificios Cimentación	0	3	6	0.75
Resistencia columna – viga	0	3	6	1.00
Configuración en planta	0	3	6	1.00
Configuración en elevación	0	3	6	0.75
Capacidad en unión Viga	0	3	6	0.75
columna	0	3	6	1.00
Geometría unión viga columna	0	4	10	0.25
Elementos cortos	0	2	4	0.50
Elementos no estructurales	0	10	20	1.00
Año de construcción	0	12	12	1.00
Estado de mantenimiento				
Edificios Adyacentes				

4.1.3.1 Pórtico: hormigón – mampostería

Evaluamos la calidad del conjunto pórtico de hormigón armado y mampostería.

Se clasifica como **A**, si cumple los siguientes requisitos:

- Mampostería constituida por ladrillos o bloque prefabricados que sean macizos o semimacizos de consistencia resistente.
- Cuando se utilice piedra en la mampostería esta debe ser bien cortada. En todos los casos el mortero debe ser de buena calidad.

Existen una serie de edificios muy importantes que fueron construidos por los años cincuenta, sesenta y setenta que responden a las normas técnicas vigentes en esa época, en los últimos años, se tiene una mayor información de los sismos y existe un gran avance en el campo de diseño, hoy se da énfasis al diseño por capacidad, antes se diseñaba únicamente por resistencia.

Por otro lado, en zonas de alta amenaza sísmica se han construido edificios con una arquitectura no propia para estas regiones. Es a estos edificios a los que se debe evaluar el índice de vulnerabilidad que tienen, si es bajo la estructura se encuentra en óptimas condiciones y tendrá un magnífico comportamiento ante un terremoto; por el contrario si el I.V. es alto se debe proceder a realizar los estudios tendientes a reforzar la estructura y si el Índice de Vulnerabilidad tiene un valor intermedio no se puede afirmar que la estructura es segura o insegura pero nos ayuda al momento de proponer la reparación para acercarlo al lado de la seguridad.

4.1.4. Manifestaciones Típicas – Propuesta de reparación

Aquí se presenta la configuración típica o forma de aparición del problema considerado, el cual basado en esquemas ilustrativos (fotografías) y conociendo el problema, se relacionan los diagnósticos más comunes para cada uno de ellos, además se detalla propuesta de reparación.

Este resumen incluye manifestaciones típicas y comunes que se encuentra en las estructuras de nuestro medio:

- Vigas
- Columnas
- Losas
- Paredes
- Tanques
- Silos de almacenamiento
- Alcantarillas
- Pisos industriales

De la página 109 a la 137 se detalle lo anteriormente expuesto.

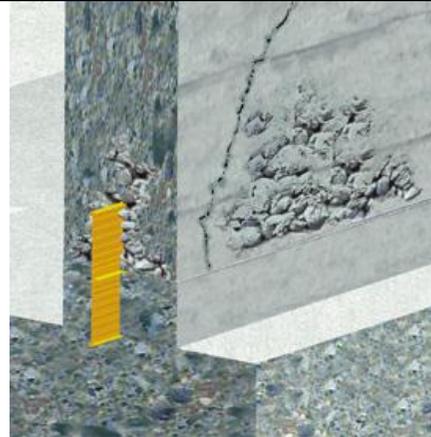
CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO



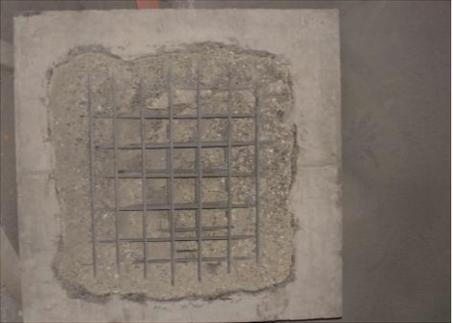
Manifestación Típica	Diagnóstico, más probable	Alternativas de Corrección
<p>Manchas verdosas o marrones (color de óxido), fisuras, desprendimiento de hormigón de recubrimiento y aristas del elemento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hormigón permeable, inadecuada relación a/c. • Espesor de recubrimiento Insuficiente sobre el acero de refuerzo. • Mala ejecución, nidos, hormigueros mala compactación. 	<p>Posterior al diagnóstico de la estructura e identificadas las consecuencias del daño, se debe:</p> <p>a) Eliminar el hormigón desprendido y acero afectado, además eliminar todos los productos de la corrosión, limpiando bien las superficies tanto del acero como del hormigón, usando medios mecánicos e incluso medios químicos, los cuales deben ser removidos con abundante agua luego de su acción.</p> <ul style="list-style-type: none"> • realizar re alcalinización electroquímica (en caso de carbonatación) • realizar extracción electroquímica de cloruros (en caso de cloruros)

		<p>b) Reconstruir la sección original de acero de refuerzo o acrecentar acero en caso de refuerzo mediante métodos de reforzamiento con láminas o perfiles de acero o láminas de carbono tipo FRP.</p> <p>c) Reconfigurar la sección original del elemento estructural de la siguiente forma:</p> <ul style="list-style-type: none">• reparar con mortero de base cemento modificado con polímeros (en caso de carbonatación o cloruros)• reparar con mortero de base epoxi, epoxi-cemento o de base poliéster (cuando hay mucha prisa en poner en servicio)• en caso de elementos difíciles de compactar, reforzar por aumento de sección con grout base cemento.• Para áreas de difícil acceso o donde no existe posibilidad de encofrado una alternativa es usar hormigón lanzado vía húmeda con el fin de recuperar secciones importantes del elemento.• aplicar revestimiento (pintura) de protección superficial contra cloruros o contra gas carbónico• en algunos casos demoler y reconstruir.
--	--	---

HORMIGUEROS SUPERFICIALES EN MUROS, VIGAS Y COLUMNAS



Manifestación Típica	Diagnóstico, más probable	Alternativas de Corrección
<p>Oquedades tipo nidos o panales de abeja, generados por vaciado y compactación deficientes o por mezcla de hormigón muy fluida que presente problemas de segregación y exudación o por encofrados defectuosos que dejen escapar la lechada del hormigón que presenten o no acero</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificación inadecuada del concreto con muy pequeña proporción de mortero o pasta. • Tamaño máximo característico del árido grueso muy grande. • Vertido y compactación inadecuada. • Excesiva cantidad de acero de refuerzo. 	<p>Después de analizar el elemento estructural puede ser necesario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • eliminar la lechada y pasta del hormigón segregado hasta obtener un hormigón sano y limpio. • limpiar bien las superficies del sustrato y del acero, conveniente luego de este paso debe quedar el agregado expuesto limpio como medida para obtener una excelente superficie de anclaje. • reparar con mortero de base cemento modificado con polímeros • reparar con mortero de base epoxi , epoxi-cemento o poliéster (si hay prisa) • reparar con grout de base cemento (reparaciones profundas) y difíciles de colocar y compactar • aplicar revestimiento de protección según el caso (contra agresividad

<p>expuesto y en general con mucho agregado grueso expuesto.</p>		<p>ambiental, humedad o filtraciones de agua) .</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dar terminado con pinturas decorativas y mantenimiento rutinario.
<p>REPARACIONES Y REFUERZOS EN CASOS DE INCENDIOS</p>		
		
<p>Manifestación Típica</p>	<p>Diagnóstico más probable</p>	<p>Alternativas de Corrección</p>
<p>Losas, vigas y columnas con muchas fisuras y desprendimiento de hormigón superficial, acero expuesto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dilatación térmica excesiva del elemento estructural. • Recubrimiento insuficiente de las armaduras. • Temperaturas muy elevadas. • Choque térmico con agua fría de los bomberos. 	<p>En situación de emergencia, después de analizar rápidamente la estructura puede ser conveniente efectuar refuerzo de emergencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apuntalar la estructura • limpieza y escarificación de la superficie existente • reponer sección original de acero o acrecentar acero en caso de refuerzo. • sellar fisuras con inyección epoxi, o poliuretano hidro expansible en caso de ingreso de agua que impida la aplicación de productos.

		<ul style="list-style-type: none">• reparar o reforzar con mortero o concreto lanzado (proyectado) vía húmeda (para grandes superficies).• reparar o reforzar con uso de láminas metálicas o de carbono. <p>En los casos de reparaciones o refuerzos con láminas metálicas o de fibras de carbono, efectuar protección térmica con morteros de vermiculita expandida, yeso, poli espuma u otro sistemas de retardo o barreras contra el fuego.</p>
--	--	---

FISURAS DE RETRACCIÓN PLASTICA O TERMICA



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Fisuras en losas y vigas, en general paralelas y geométricamente distanciadas, que no aparecen en las partes muy armadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Secado prematuro del hormigón (curado inadecuado). • Contracción térmica debido a gradientes de temperatura diarios o estacionales. • Falta de acero de refuerzo. 	<p>Analizar la dimensión de la fisura y clasificarla como activa (también conocidas como fisuras vivas o que trabajan), o pasivas (también llamadas fisuras muertas):</p> <p>a) En ambiente interior seco y no agresivo cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> • abertura < 0,3 mm, no necesita ningún tratamiento • abertura > 0,3 mm, pasiva, inyectar resina epoxi de baja viscosidad • abertura > 0,3 mm, activa, rellenar con sellante elástico, para eliminar el ingreso de agua lluvias . <p>b) En ambientes agresivos y húmedos cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> • abertura < 0,1mm, no necesita ningún tratamiento • abertura > 0.1mm, pasiva, inyectar resina epoxi de baja viscosidad • abertura > 0.1mm, activa, rellenar con sellante

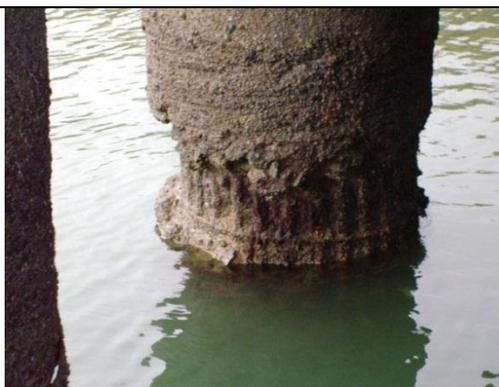
		<p>c) aplicar revestimiento (pintura) de protección superficial contra cloruros o contra gas carbónico (tipo barrera renovable cada 4 años).</p> <p>D) V En los casos de reparaciones o refuerzos con láminas metálicas o de fibras de carbono, efectuar protección térmica con morteros de vermiculita expandida, yeso, poli espuma u otro sistemas de retardo o barreras contra el fuego. Realizar mantenimiento periódico cada 5 años.</p>
--	--	---

FISURAS DE FALSO FRAGUADO



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
Fisuras generalizadas (mapeo) en la superficie de losas y columnas con aspecto de ausencia de vibración.	<ul style="list-style-type: none">• demora en la colocación del concreto.• calor excesivo del ambiente y de la mezcla y humedad relativa baja.• exceso de viento.	<p>Puede ser conveniente eliminar las partes sueltas y limpiar cuidadosamente las superficies.</p> <ul style="list-style-type: none">• Dependiendo de la dimensión de la fisura, dejar como está, o sea, convivir con la fisura. Analizar la resistencia del concreto por esclerometría, ultrasonido o extracción de testigos,• Caso contrario por ser fisuras superficiales de poca profundidad se las puede rellenar con un ana lechada mejorada con puentes de adherencia.

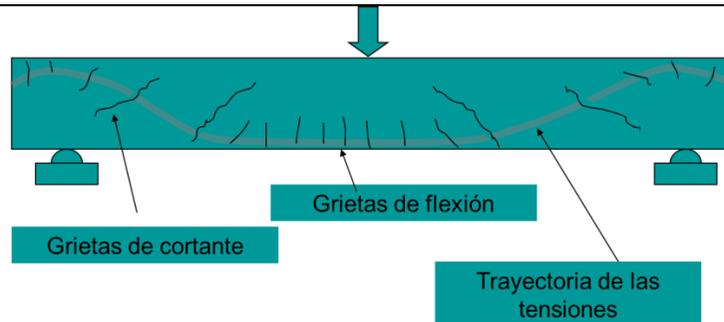
DETERIORO GENERALIZADO EN AGUA DE MAR O AGUA DULCE AGRESIVA



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas para Corrección
<p>Desgaste mecánico de la superficie expuesta al agua.</p> <p>Corrosión en los elementos semi inmersos, rotura de aristas, fisuras, agregado expuesto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • hormigón muy poroso y alta relación a/c. • mala ejecución • recubrimiento insuficiente • manipulación de materiales agresivos sobre el elemento (abonos, carbón, azufre, etc.) 	<p>Después de analizar adecuadamente las estructuras, puede ser necesario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apuntalar la estructura • limpieza y escarificación de la superficie existente. • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi • reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados) • reparar o reforzar con mortero u hormigón lanzado (proyectado) vía seca o vía húmeda (para grandes superficies) • reparar o reforzar con grout de base cemento para operación sumergida debidamente encofrado. • aplicar método de extracción electroquímica de cloruros (en caso de cloruros) • utilizar aceros especiales galvanizados, inoxidable o revestidos de

		<p>recubrimiento antioxidante en caso de muchos cloruros.</p> <ul style="list-style-type: none">• reparar o reforzar con uso de láminas de carbono• aplicar revestimiento (pintura) de protección superficial contra cloruros que funciona como barrera.• demoler y reconstruir partes muy afectadas de ser el caso.• en los casos de reparaciones o refuerzos con láminas metálicas o de fibras de carbono, efectuar protección térmica con morteros de vermiculita expandida, yeso, poli espuma u otro procedimiento adecuado.
--	--	---

FISURAS DE FLEXIÓN Y CORTE EN VIGAS



Manifestación Típica	Alternativas de Corrección
<p>Fisuras y flechas en las superficies fraccionadas de vigas y losas.</p>	<p>Después de analizar adecuadamente el elemento estructural, los diseños y las cargas, puede ser necesario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apuntalar • eliminar sobre carga • limpieza y escarificación de la superficie existente • reponer sección original de acero o acrecentar acero en caso de refuerzo • sellar fisuras con Inyección de micro cementos o epoxi • reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados) • reparar o reforzar con mortero proyectado u hormigón lanzado vía húmeda (para grandes superficies) • reparar o reforzar con uso de láminas metálicas o de carbono tipo FRP. • eventualmente demoler y reconstruir • en los casos de reparaciones o refuerzos con láminas metálicas o de fibras de carbono, efectuar protección térmica con morteros de vermiculita expandida, yeso, poli espuma u otro material ignífugo o barrera al fuego.

FISURAS EN LA PARTE SUPERIOR (BALCONES)



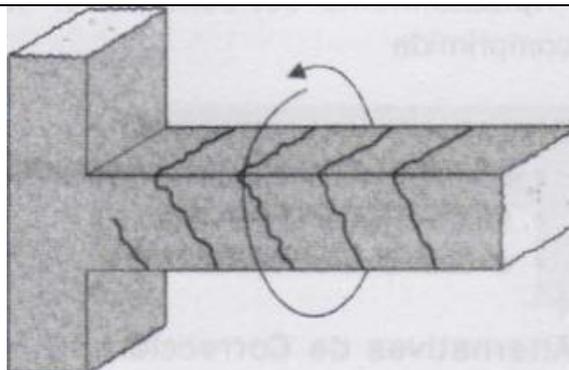
Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Fisuras en la superficie superior de vigas y losas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • armadura mal posicionada en el diseño o en la ejecución • sobrecargas no previstas • armadura insuficiente 	<p>Puede ser necesario lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apuntalar la viga • limpieza y escarificación de la superficie existente • reponer sección original de acero o acrecentar acero en caso de refuerzo mediante sistemas de anclajes químicos. • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi • reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros. • reparar o reforzar con uso de láminas metálicas o de carbono • eventualmente demoler y reconstruir • en los casos de reparaciones o refuerzos con láminas metálicas o de fibras de carbono, efectuar protección térmica.

FISURAS DE ASENTAMIENTO PLASTICO Y CORRIMIENTO DE LAS ARMADURAS



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Fisuras alineadas con armadura principal y estribos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mala adherencia de la armadura con el hormigón • concreto de resistencia inadecuada con alto contenido de agua y pasta. • anclaje insuficiente del acero 	<p>Es necesario hacer lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • limpieza y escarificación de la superficie existente • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi para el caso de fisuras posterior a las 24 horas colocado. • sellar fisuras con inyección de epoxi de baja viscosidad en el caso de fisuras por asentamiento plástico. • Aplicar sistemas de protección para cubrir y puentear microfisuras donde la inyección no ha llegado.

FISURAS DEBIDO A LA TORSIÓN



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
Fisuras acompañadas de aplastamiento localizado del concreto	<ul style="list-style-type: none"> • sobrecargas no previstas • hormigón de resistencia inadecuada • sección (geometría) de hormigón insuficiente 	<p>Después de analizar adecuadamente el elemento estructural, el diseño y las cargas, puede ser conveniente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apuntalar la estructura • limpieza y escarificación de la superficie existente • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi • reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados) • reparar o reforzar con uso de láminas metálicas o de carbono • reforzar con pos tensado externo • eventualmente demoler y reconstruir

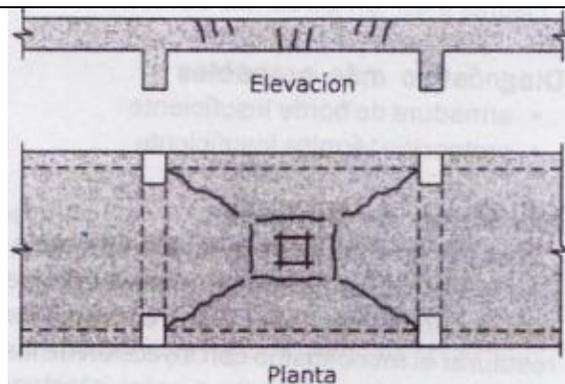
FISURAS DE JUNTA DE HORMIGONADO EN COLUMNAS Y MUROS



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Fisuras en la interface de diferentes vaciados de hormigón donde la primera parte ya está endurecida y no garantiza una unión monolítica de los elementos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • cabeza de la columna con exceso de (lechada) de cemento (debido a la exudación) o superficies sucias de polvo, o residuos de madera o papel • suspensión de colado del hormigón de un día para el otro, hormigón viejo. 	<p>Después de analizar adecuadamente el elemento estructural y el medio ambiente donde este se encuentra, puede ser conveniente:</p> <p>a) eliminar las partes sueltas y limpiar cuidadosamente las superficies y la fisura</p> <p>b) dependiendo de la dimensión de la fisura, dejar como está, o sea, convivir con la fisura. Caso contrario reparar.</p> <ul style="list-style-type: none"> • inyectar resina micro cemento o epoxi si la dimensión < 0,3 mm y la fisura es pasiva • apuntalar la estructura • limpieza y escarificación de la superficie existente • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi

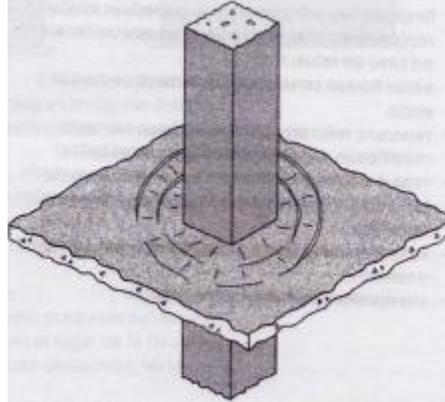
		<ul style="list-style-type: none">• reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados)• aplicar revestimiento (pintura) de protección superficial contra cloruros o contra gas carbónico (tipo barrera renovable cada 5 años)
--	--	--

FISURAS DE FLEXION EN LOSAS



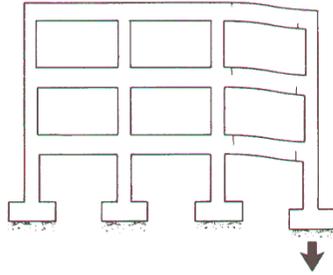
Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Fisuras a 45° y en el centro de la losa en caso de paño simétrico.</p> <p>Fisuras interiores al centro del paño.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • armadura insuficiente o mal posicionada • longitud de anclaje insuficiente del acero • desencofrado precoz • sobrecargas no previstas • hormigón de mala calidad o cuyo desarrollo de resistencias sufra retardo a lo solicitado en la norma. 	<p>El plan de reparación puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apuntalar la estructura • limpieza y escarificación de la superficie existente • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi • reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros lugares puntuales • aplicar sobre capas de mortero de base cemento, epoxi, o poliéster • reparar o reforzar con uso de láminas metálicas o de carbono adheridas a la superficie con ligante epoxi. • Aplicar mortero de recubrimiento tipo masillado con el fin de provocar caídas para evacuar agua. • Aplicación de recubrimiento elástico impermeable para proteger de posibles fisuramientos a futuro.

PUNZONAMIENTO EN LOSAS



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
Fisuras típicas alrededor de columnas	<ul style="list-style-type: none">• exceso de carga concentrada• losa muy fina• concreto de resistencia inadecuada• armadura insuficiente• armadura mal posicionada en el diseño o en la ejecución	<ul style="list-style-type: none">• Se debe reforzar la losa junto al apoyo, con láminas metálicas o de carbono o reforzar el apoyo de la losa con la creación de un capitel o cartela en la cabeza de la columna.• Previo al reforzamiento se debe sellar sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi.

FISURAS POR ASENTAMIENTO DIFERENCIAL



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Asentamiento diferencial de los apoyos de la pared de hormigón.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • asentamiento de las cimentaciones y los apoyos • armadura insuficiente • armadura mal posicionada en el diseño o en la ejecución 	<p>Después de analizar cuidadosamente el elemento y su cimentación, puede ser necesario reforzar la cimentación o aliviar las cargas actuantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • limpieza y escarificación de la superficie existente • reponer sección original de acero o acrecentar acero en caso de refuerzo • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi • reparar o reforzar con mortero base cemento modificado con polímeros (casos localizados) • reforzar cimentaciones y pilotes con hormigón u hormigón grout.

FISURAS DE RETRACCIÓN HIDRÁULICA Y CONTRACCIÓN TÉRMICA EN PAREDES



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Fisuras típicas horizontales, verticales o inclinadas debido a las fuerzas de contracción restringida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • desplazamiento térmico de la losa • hormigón de resistencia inadecuada • desplazamiento térmico y retracción hidráulica 	<p>Después de analizar el elemento, puede ser necesario crear una junta de dilatación en el lugar de la fisura y rellenar con sellante y efectuar protección térmica eficiente:</p> <p>Aplicar impermeabilización adecuada en las cimentaciones para impedir que la humedad ascienda por absorción capilar.</p>

FISURAS DE FLEXIÓN EN PAREDES



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativa para Corrección
Fisuras al pie de paredes y losas debido a movimientos deflexión.	<ul style="list-style-type: none">• losa muy flexible• juntas de hormigonado mal ejecutadas.• armadura insuficiente.	Después de analizar el elemento, realizar el estudio pertinente y el modelo de cálculo para limitar el valor de la sobrecarga y/o reforzar la pared.

DETERIORO PARTE SUPERIOR ALCANTARILLIAS



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativa para Corrección
<p>Corrosión de armaduras, degradación del hormigón</p>	<ul style="list-style-type: none"> • hormigón de resistencia y composición Inadecuada • recubrimiento insuficiente • mala ventilación de la tubería / galería • roturas localizadas por acción de cargas excesivas o asentamientos • ausencia de protección superficial o capa de sacrificio 	<p>Después de inspeccionar y analizar la situación, puede ser necesario:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apuntalar la estructura • limpieza y escarificación de la superficie existente • Pulido de la superficie existente • reponer sección original de acero o acrecentar acero en caso de refuerzo • sellar fisuras con inyección de micro cementos o epoxi • reparar o reforzar con mortero o grout base cemento modificado con polímeros (casos localizados) • reparar o reforzar con mortero o concreto lanzado (proyectado) vía seca o vía húmeda (para grandes superficies)

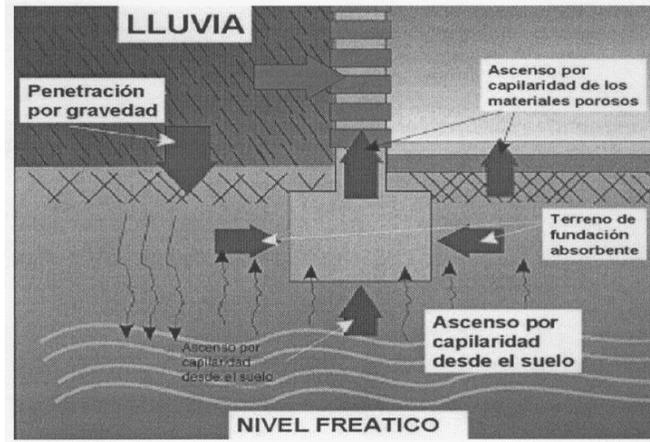
		<ul style="list-style-type: none">• aplicar método de extracción electroquímica de cloruros (en caso de cloruros)• aplicar protección catódica con ánodos de sacrificio (zinc) o corriente impresa (en caso de muchos cloruros)• utilizar aceros especiales galvanizados, inoxidable o revestidos de resinas epoxi (en caso de muchos cloruros)• reparar o reforzar con morteros, grouts o concretos con inhibidores -químicos mezclados en la masa (en caso de muchos cloruros)• aplicar revestimiento (pintura) de protección superficial contra cloruros o contra gas carbónico (tipo barrera renovable cada 4 años)• eventualmente demoler y reconstruir aplicar procedimientos especiales.
--	--	--

DETERIORO DE LA PARTE INMERSA DE GALERÍAS Y ALCANTARILLADO



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
<p>Desgaste, abrasión y cavitación</p>	<ul style="list-style-type: none"> • hormigón de resistencia inadecuada • roturas localizadas por la acción de cargas excesivas o asentamiento • velocidad excesiva del líquido • exceso de partículas abrasivas en el líquido • ausencia de protección o capa de sacrificio. 	<p>Después de inspeccionar y analizar la situación, puede ser necesario aplicar revestimiento de protección epoxi y endurecedores de superficie. Primero hay que reparar con mortero u hormigón de alta resistencia. Posterior se debe aplicar todos los pasos descritos en el problema anterior.</p>

HUMEDAD EN CIMIENTOS



Manifestación Típica	Diagnóstico más probable	Alternativas de Corrección
Eflorescencias, desprendimiento de empaste y pintura.	<ul style="list-style-type: none"> • hormigón de alta permeabilidad • nivel freático alto • morteros de enlucidos de baja calidad • gases y líquidos agresivos • mala ejecución • mantenimiento insuficiente e inadecuado • ausencia de protección 	<ul style="list-style-type: none"> • Después de analizar adecuadamente la situación, es necesario retirar las partes sueltas, empaste, pintura y eflorescencias por medios mecánicos. • preparar y limpiar cuidadosamente la superficie con ayuda de cepillos de acero. • aplicar neutralizador para eliminar los cristales de sales presentes en la superficie, generalmente se usa ácidos de baja concentración que regulan el PH de la superficie. • posterior a la acción del neutralizador debe removerse todo el exceso con agua. • Aplicar bloqueadores de humedad para evitar la salida de agua o vapor de agua que lixivie a las sales.

		<ul style="list-style-type: none">• reparar o reforzar con micro mortero impermeable base cemento modificado con polímeros que garanticen la adherencia e impermeabilidad al ingreso de agua.• Luego del proceso de secado del sistema, empastar y pintar la zona o franja regular establecida.
--	--	--

4.1.6. CASO DE ESTUDIO

EDIFICIO AGD – SALINAS

Este estudio es una aplicación práctica de lo expuesto en la guía usando los ensayos no destructivos sobre una edificación existente.

4.1.6.1. Objetivo

El objetivo principal de la diagnosis, es la determinación de las condiciones actuales de los materiales: hormigón, acero de refuerzo, etc. que componen los diferentes elementos estructurales del edificio analizado, además se detallará la metodología para la rehabilitación con el fin de brindar vida útil adecuada a la estructura reforzada.

Los datos obtenidos proporcionarán elementos de juicio que permitirán elaborar las especificaciones de la intervención (restauración, reforzamiento, protección, etc.) más apropiadas.

4.1.6.2. Evaluación de los elementos

Alcance de la evaluación

La diagnosis abarcó los elementos de la edificación, vigas y columnas principales por medio de una serie de ensayos no destructivos y semi destructivos (extracción de núcleos testigos), más una revisión general de las partes afectadas por procesos o errores de:

DISEÑO + MATERIALES+ EJECUCIÓN + MANTENIMIENTO que han afectado considerablemente la durabilidad de la Estructura.

Los ensayos realizados se realizaron tomando un muestreo en vigas y columnas.

4.1.6.3. Resultados de la evaluación y diagnóstico

- **Ensayo de carbonatación**

La Tabla 9 muestra los resultados de las lecturas del avance del frente de carbonatación (pérdida de pH en el hormigón), y las observaciones realizadas. El avance del frente de carbonatación presenta un gran problema para la armadura, el momento en el que este alcanza el hierro, “despasaiva”, e inicia la **corrosión de tipo generalizada**, este proceso inicialmente aumenta el diámetro de las varilla y rompe al hormigón de recubrimiento.

Tabla 9 Determinación de la baja de pH

DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN			
Estructura	Elemento	Carbonatación mm	OBSERVACIONES
Principal	Columna	min = 10 máx. = 25	Carbonatación alcanza 100% del recubrimiento.
El recubrimiento se midió (2cm. al acero de refuerzo)			

Foto 37 Medición de recubrimiento



Fuente: Autor

En la Foto 39 se observa capa de recubrimiento de aproximadamente 2cm al hormigón, tómesese en cuenta que el enlucido tiene aproximadamente 2cm pero no ayuda a detener el efecto de carbonatación.

- **Ensayos de adherencia**

En la Tabla se muestra los resultados de los esfuerzos a tensión encontrados con las pruebas, así como la forma de falla producida:

La adherencia de los materiales (sustratos, que servirán de base en caso de requerirse reforzamiento si lo determina el consultor estructural) nos indica el grado de soporte a tensión que tienen los mismos, esta información es necesaria para escoger de la mejor manera los productos de protección que se colocarán sobre dicho sustrato. En este caso de estudio, estos datos servirán para determinar si la parte inferior de las vigas tienen una adecuada resistencia a la tensión para recibir sistemas de reforzamiento del tipo FRP (fibras reforzadas con polímeros) o método similar si se desea aumentar la capacidad de carga o ampliación. También servirán para determinar la capacidad de adherencia de las columnas para reforzamientos por ductilidad, corte, y otros esfuerzos aumentados por el nuevo uso del local.

Tabla 10 Resultados de los ensayos de adherencia

Elemento	Tipo de Limpieza	Carga de tensión (Lb)	Carga de tensión (N.)	Resistencia obtenida (MPa)	Tipo de Falla
Viga	retiro enlucido y lechada exudación	1047	4657.288	2.2978	100% hormigón
Viga	retiro enlucido y lechada exudación	1082	4813.0	2.3746	100% hormigón
Viga	retiro enlucido y lechada exudación	948	4216.914	2.0805	100% hormigón
Debe ser mayor a 1.4 Mpa (ACI 440 2R)					

Foto 38 Muestra de sustrato



Fuente: Autor

En la Foto 40 se puede verificar el tipo de falla del sustrato y los valores de fuerza de extracción necesaria.

- **Potencial de corrosión**

Los resultados del mapeo de corrosión se muestran en resumen en la Tabla , los mismos que van a ser comparados con los valores de referencia de la norma presentados en la Tabla , éstos resultados nos indican el avance de la corrosión de tipo generalizada y se generalizará para toda la armadura de refuerzo principal.

Foto 39 Medición del potencial de corrosión



Fuente: Autor

Tabla 11 Resumen resultados de potencial de corrosión

Elemento	Pot. corrosión (voltios)		Promedio (v)
	Vigas	-0.392	
-0.316		-0.355	

Fuente: Autor

Tabla 12 Valores referenciales de corrosión

Potencial de corrosión	Probabilidad de corrosión activa (%)
> -0,2 voltios	menor al 10%
de -0,2 voltios a -0,35 voltios	corrosión activa en aumento
< -0,35 voltios	mayor al 90 %

Fuente: ASTM C 876 – 91

- **Levantamiento de fisuras**

Básicamente se realiza este ensayo de tipo visual en los elementos susceptibles a presentar fallas por fisuramiento estructural o no, pero que influyen directamente en la impermeabilidad del edificio afectando de esta manera la integridad estructural incluso al punto de ser una patología negativa importante en el tema de la subsiguiente corrosión del acero de refuerzo.

Se encontró fisuramiento estructural en vigas por efectos de cortante las fisura observadas son completamente pasantes y se miran en los dos lados de las caras de las vigas.

4.1.6.4. Análisis de los resultados de la evaluación

- **Ensayo de carbonatación**

Con referencia a la Tabla 9 el proceso de avance del frente de carbonatación es importante por lo que se considerará efectos negativos en el hierro de refuerzo por este tipo de deterioro en un futuro inmediato.

- **Ensayos de adherencia**

Con referencia a la Tabla se evidencia que los valores de adherencia encontrados en los elementos de la estructura principal del edificio que posiblemente recibirán intervención (según análisis del ingeniero estructural luego de la modelación estructural) superan el valor mínimo que acepta la norma A.C.I. 440 2R (1,4 MPa) para que el sustrato sea útil para ser intervenido para reparaciones de pega, imprimación, inyección, anclaje o reforzamiento.

Cabe recalcar que todas las fallas por adherencia se dieron en el hormigón en un 100%.

- **Potencial de corrosión**

Esta prueba corrobora que tanto el frente de carbonatación y ataque por cloruros por estar el edificio en zona costanera, sumada al bajo recubrimiento y su permeabilidad (CO_2 + humedad) están atacando ya de manera activa y generalizada a la armadura de refuerzo no solo de los elementos estructurales sino de todo el hierro del edificio.

Así que, como se puede observar en la

Tabla se puede determinar que la corrosión está presente con una probabilidad mayor al 90%.

4.1.6.5. Determinación del índice de vulnerabilidad

A continuación el detalle de los elementos en general de la estructura, luego de realizar la inspección visual

PARAMETRO	CLASE			PESO
	A	B	C	W
Pórtico: Hormigón –	0	6	12	1.00
Mampostería	0	6	12	0.50
Calidad del hormigón	0	11	22	1.00
Resistencia convencional	0	2	4	0.50
Posición edificios Cimentación	0	3	6	0.75
Resistencia columna – viga	0	3	6	1.00
Configuración en planta	0	3	6	1.00
Configuración en elevación	0	3	6	0.75
Capacidad en unión Viga columna	0	3	6	0.75
Geometría unión viga columna	0	3	6	1.00
Elementos cortos	0	4	10	0.25
Elementos no estructurales	0	2	4	0.50
Año de construcción	0	10	20	1.00
Estado de mantenimiento Edificios Adyacentes	0	12	12	1.00

Con esta información determinamos el I.V. que es igual a:

$$I.V. = \sum K W$$

$$I.V. = 42.25$$

4.1.6.6. Conclusiones y recomendaciones

Los problemas principales encontrados en el edificio se enfocan a la calidad del concreto, pues de las pruebas adicionales aplicadas se determinó resistencias

inaceptables de los mismos, en todos los casos menores al 85% de la resistencia de diseño 240 kg/cm², además de la corrosión generalizada medida en toda la estructura.

Debido a que el avance de la corrosión generalizada es potencialmente grave y difícil de controlar en instancias futuras se debe realizar una intervención inmediata para evitar daños mayores.

Del valor obtenido del índice de vulnerabilidad no se puede afirmar que la estructura sea segura o insegura, de tal manera que los sistemas de reparación van a estar orientados a devolverle seguridad a la edificación.

En la página siguiente se ha creado una matriz (Tabla 13) donde se detalla los problemas encontrados, el diagnóstico, tratamiento y recomendaciones que contribuyen a mantener y muy posiblemente prolongar la vida útil de la edificación.

Tabla 13 Matriz de solución

Matriz de recomendaciones finales				
ELEMENTO A INTERVENIR	LIMPIEZA INICIAL Y PREPARACIÓN DEL SUSTRATO	PATOLOGÍA PARTICULAR	TRATAMIENTO RECOMENDADO	RECOMENDACIONES FINALES
Tratamiento integral de toda la estructura	Para la aplicación de cualquier producto de reparación y/o reforzamiento, se deberá realizar una limpieza integral de los elementos, es decir remover todo resto de pinturas o empastes hasta llegar a hormigón, especialmente para reparaciones de tipo estructural hasta conseguir perfiles de anclaje adecuados óptimos.	Corrosión saneado: Acero con corrosión	Limpieza mecánica dejando el metal en blanco, Aplicación de Inhibidor de corrosión de tipo cementicio. Imprimación y relleno con material epoxi.	Para mantenimiento posterior: Se recomienda la aplicación de una pintura anti carbonatación para detener el avance del CO2 en instancias futuras. Referirse a las hojas técnicas de los productos en mención para su correcta aplicación.
		Corrosión saneado: Acero con corrosión	Aplicación integral inhibidor de corrosión tipo impregnación y migración.	
		Fisuras saneado del concreto	Inyección de resina de epoxi de baja viscosidad.	
		Reforzamiento relleno de columnas	Fabricación de hormigón grout sin retracción. Se debe realizar imprimación previa con ligante epoxi.	
		Reforzamiento anclajes estructurales	Se debe usar sistema de anclaje estructural tipo epoxi gel.	
		Reforzamiento tratamiento de elementos de acero adheridos	Anclaje con mortero epoxi.	
		Reforzamiento vigas con frp	Usar Sistema de platinas de Carbono tipo adheridas con resina epoxi grado estructural y compatible con Carbono.	
		Recubrimiento a las fibras de carbono y planiedad a la aplicación	Para proteger y disminuir la vulnerabilidad al fuego se debe prever un recubrimiento cementicio de alta resistencia mejorado con resinas acrílicas o epoxi emulsificadas en agua sobre los elementos reforzados.	
		Oquedades, reparación de hormigón	Utilización de mortero de reparación estructural, con aplicación inicial de adherente epóxico de hormigón viejo a nuevo	
		Fisuras estructurales	Tratamiento de las mismas con resina epoxi de baja viscosidad a una presión mayor de 30 psi.	
Tratamiento para carbonatación	En zonas que se determinen recubrimientos adecuados se puede usar recubrimiento anti carbonatación.			

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

a) La durabilidad nunca fue contemplada objetivamente en las normas. Ni la cuestión de la estética. Para esas dos nuevas exigencias humanas es necesario establecer nuevos requisitos y nuevos criterios de dimensionado y de consideración con el fin de garantizar la vida útil y la presentación de las edificaciones.

b) Se debe realizar modificaciones al código ecuatoriano de la construcción en cuanto a estos temas para que sirvan de sustento para el profesional al momento de diseñar y construir, para incluso evitar reparaciones costosas y que causan molestias al usuario.

c) El uso de la guía ayudará mucho a la toma de decisiones en el momento de recomendar reparaciones, presento un caso de estudio basado en la guía propuesta que recoge sugerencias valiosas al momento de contratar la intervención.

d) Conforme a lo detallado en el caso de estudio, puedo determinar con exactitud las diferentes patologías que presenta la edificación, el uso de ensayos no destructivos contribuyen en gran medida a ratificar las causas o acciones actuantes que generan los síntomas o daños encontrados. La correcta concepción del problema ayuda a crear la matriz de solución con el tratamiento recomendado adecuado para garantizar la vida útil de la estructura afectando lo menos posible su funcionalidad y estética.

e) Considero que esta guía aporta al desarrollo del país especialmente en este momento que es prioridad del estado reforzar edificios públicos para ajustar criterios sismo resistente que solicita el actual código de la construcción.

5.2 RECOMENDACIONES

a) En esta guía se recopiló la mayoría de comentarios acerca de durabilidad y reparación del hormigón, sin embargo es conveniente para cada obra revisar procedimientos propios dependiendo de los materiales usados y acciones actuantes, además de recomendaciones o sugerencias de organismos nacionales o internacionales acerca de este tema.

b) El uso de esta guía no exime la responsabilidad de realizar ensayos paralelos con laboratorios externos que permitan corroborar los resultados, por lo tanto es importante solicitar a las entidades u organismos encargados de esta investigación la actualización de normas y ensayos enmarcados en nuestra realidad, tal es el caso que no existe ninguna referencia para evaluar la adherencia acero-hormigón peor aún las alteraciones y comportamiento del acero comercial del país con los incrementos de temperatura, esto especialmente en aquellas estructuras como túneles viales que se han construido en esta última década.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Sanz Benlloch, A. (2004) Valoración de Obras de Ingeniería Civil. Editorial de la UPV. Valencia-España.
- Heyman, J (1999) La Ciencia de las estructuras. Editorial EFCA. Madrid-España
- Garcés, P, Climent, M y Zornoza, E (2008) Corrosión de armaduras en estructuras de hormigón. Editorial Club Universitario. Alicante-España.
- Fernández, C, Manuel (2001) Diagnóstico de estructuras. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Ministerio del Ambiente (2008) Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil. Lima -Perú
- Oficina Regional para Mesoamérica y la Iniciativa Caribe (2009). Guía de infraestructura: Instrumento de gestión ambiental. San José, Costa Rica.
- Helene, Paulo. (1983) La Agresividad del Medio y la Durabilidad del Hormigón. Barcelona.
- Helene, Paulo. (1983) Corrosión de las armaduras en el Hormigón Armado. Cemento y Hormigón. Barcelona.
- De Sitter, W.R. (1984) Durability of concrete Structures. Costs for Service Life Optimization. Copenhagen.
- http://www.mda.cinvestav.mx/alconpat/internacional/contenido/re_ebook_ai/DEMO_R/HTML/Capitulo1

Referencias Recomendadas:

Los siguientes documentos y normas pueden ser consultados para complementar la información suministrada por esta guía.

Información del ACI:

- | | |
|---------|---|
| 116 r | Tecnología del cemento y del hormigón. |
| 228.1 R | Métodos in-situ para la determinación de la resistencia del concreto. |
| B-14 | Historia del concreto |
| SP-85 | Rehabilitación, renovación y preservación de estructuras de concreto y mampostería. |

Normas ASTM:

- | | |
|-------|--|
| C 42 | Métodos para obtener y ensayar núcleos de concreto. |
| C 597 | Método de ensayo para determinar la velocidad del pulso ultrasónico a través del concreto. |
| C 805 | Método de ensayo esclerométrico en el concreto endurecido |
| C 823 | Practica para el examen petrográfico del concreto endurecido. |
| C 900 | Método de ensayo para la resistencia a la tensión directa del concreto endurecido. |

ANEXOS

ANEXO No.- 1

GLOSARIO

- **Guía.-**

Libro de consulta donde se puede encontrar una serie de datos e informaciones y pautas acerca de un servicio; generalmente sirve para orientar o dar consejos sobre un oficio o una actividad.

- **Evaluación.-**

El concepto de evaluación se refiere a la acción y a la consecuencia de evaluar, un verbo cuya etimología se remonta al francés évaluer y que permite indicar, valorar, establecer, apreciar o calcular la importancia de una determinada cosa o asunto.

Según lo expresa Maccario se trata de un acto donde debe emitirse un juicio en torno a un conjunto de información y debe tomarse una decisión de acuerdo a los resultados.

Existen diversos enfoques para realizar una evaluación, cada uno de ellos posee un objetivo que desea analizarse y a él responde para su realización.

Es importante destacar que, a nivel académico, no existe una única forma de realizar una evaluación: todo depende de la finalidad que se persiga y del fundamento teórico en el que se contextualice.

- **Estructura de hormigón.-**

La Estructura de un edificio es el esqueleto que soporta todas las cargas.

Las cargas que soporta una estructura son todos aquellos factores que inciden sobre el edificio produciendo deformaciones, ya sean las cargas de su peso propio como otras.

La estructura de un edificio no solo soporta su peso propio sino también otras cargas y situaciones que alteran su carga total inicial.

Deberá soportar modificaciones en la distribución de cargas, en los revestimientos y quizás pueda modificar el uso o actividad.

También actúan sobre la estructura aquellos fenómenos naturales como el viento, la nieve e incluso los movimientos sísmicos, habituales en algunas regiones del planeta.

Las Estructuras de Hormigón Armado se han difundido cubriendo casi toda la gama de edificaciones de baja y media altura por su flexibilidad y eficacia en las construcciones.

Es el sistema constructivo más empleado en el mundo sin ninguna duda.

El tipo estructural más difundido es el entramado de barras con nudos rígidos, realizados "in situ", con continuidad de sus elementos. En algunos casos se pueden incorporar uniones con algún grado de libertad como juntas de dilatación o rótulas.

Estas estructuras se han extendido en todas las zonas de industrialización media o alta, con una relación de costes entre mano de obra y materiales muy razonable. Elegida también por las grandes ventajas que ofrece por su rigidez y óptimo comportamiento frente a agentes atmosféricos y al fuego.

La estructura normal de hormigón armado está compuesta por barras que se unen entre sí ortogonalmente. Las barras son piezas prismáticas en las que predomina el largo sobre la sección, por lo general, cuadrada o rectangular.

La estructura de hormigón armado está compuesta por diferentes materiales que trabajan en conjunto frente a la acción de las cargas a que está sometida.

Los materiales que intervienen en su composición son:

- **Acero:**

El acero presente en las barras y mallas, en las Armaduras cumple la misión de ayudar a soportar los esfuerzos de tracción y corte a los que está sometida la estructura.

- **Hormigón:**

El hormigón tiene resistencia a la compresión, mientras que su resistencia a la tracción es casi nula. Tengamos en cuenta que un hormigón convencional posee una resistencia a la tracción diez veces menor que a la compresión.

Los refuerzos de acero en el hormigón armado otorgan ductilidad al hormigón, ya que es un material que puede quebrarse por su fragilidad.

En zonas de actividad sísmica regular, las normas de construcción obligan la utilización de cuantías mínimas de acero a fin de conseguir ductilidad en la estructura.

- **Estructura:**

Una estructura es la distribución de las partes de un cuerpo o de otra cosa. El concepto, que procede del latín estructura, hace mención a la disposición y el orden de las partes dentro de un todo.

A partir de esta definición, la noción de estructura tiene innumerables aplicaciones. Puede tratarse de la distribución y el orden de las partes principales de un edificio o de una casa, así como también de la armadura o base que sirve de sustento a la construcción. Por ejemplo: “A simple vista parece un edificio muy moderno, pero habría que analizar su estructura”, “Me encanta la estructura de esta casa, con el baño ubicado junto a la habitación principal”, “Una falla en la estructura causó el derrumbe de una torre en Kuala Lumpur” La estructura también es la distribución y el orden de los componentes o las partes de una obra de ingenio.

- **Procedimiento.**

Un procedimiento es un conjunto de acciones u operaciones que tienen que realizarse de la misma forma, para obtener siempre el mismo resultado bajo las mismas circunstancias.

Es un término que hace referencia a la acción que consiste en proceder, que significa actuar de una forma determinada. El concepto, por otra parte, está vinculado a un método o una manera de ejecutar algo.

Un procedimiento, en este sentido, consiste en seguir ciertos pasos predefinidos para desarrollar una labor de manera eficaz. Su objetivo debería ser único y de fácil identificación, aunque es posible que existan diversos procedimientos que persigan el mismo fin, cada uno con estructuras y etapas diferentes, y que ofrezcan más o menos eficiencia.

- **Ensayo.-**

Un ensayo se diferencia de un tratado, por alejarse de los dogmatismos y por mostrar con lujo de detalle el proceso de formación de una determinada idea y darle a este desarrollo tanta importancia como al juicio final que se hace sobre ella. Además es un texto que no persuade sino que invita al lector a pensar y crear su propio análisis, partiendo de lecturas recomendadas o juicios comparativos.

Algunos tipos de ensayo:

Ensayo científico: Plantea preguntas frente a un tema de origen científico. Es un texto que no presenta respuesta sino que critica y pone en duda algo que puede ser considerado concluyente. Es decir, intenta explicar de forma racional un tema preciso en un campo científico determinado.

Ensayo descriptivo: Presenta de forma exployada un punto de vista sobre un tema planteado por determinado autor. En él se comparan diferentes opiniones de diversos autores sobre el tema escogido y se elaboran conclusiones propias sobre él. Para que un texto pueda entrar en esta categoría debe cumplir con ciertos requisitos: ser conciso, restringido, claro, breve, coherente y creativo.

Ensayo periodístico: Se plantea el resultado de una investigación desde la óptica de un editorialista. Recibe también el nombre de crónica aunque no es del todo correcto pues esta última muestra acontecimientos históricos acontecidos en un orden cronológico, mientras que el ensayo periodístico posee contenido subjetivo.

- **Prueba.-**

Es la acción y efecto de probar (hace un examen o experimento de las cualidades de alguien o algo). Las pruebas, por lo tanto, son los ensayos que se hacen para saber cómo resultará algo en su forma definitiva, o los argumentos y medios que pretenden demostrar la verdad o falsedad de algo.

Las pruebas son señales, muestras o indicios de algo: “Un cabello hallado en la escena del crimen fue la prueba que permitió descubrir la identidad del asesino”.

Una prueba también puede ser una evaluación o un examen que se hace para que alguien demuestre sus conocimientos y aptitudes sobre una cierta materia.

En ciertos deportes, las pruebas son competiciones: “El jamaiquino se impuso en la prueba de cien metros libres”, “Estados Unidos ya ha cosechado catorce medallas de oro, cuando aún no se han llevado a cabo las principales pruebas del mundial”.

- **Ejecución.-**

Viene del latín exsecutio, el término ejecución permite nombrar a la acción y efecto de ejecutar. Este verbo tiene varios significados: poner por obra algo, desempeñar algo con facilidad, tocar una pieza musical, ajusticiar, reclamar una deuda por un procedimiento ejecutivo o, en informática, realizar las operaciones que son especificadas por un programa.

En el arte, la ejecución está vinculada a la manera de hacer algo: “La ejecución del pianista fue fenomenal: el público lo aplaudió de pie durante varios minutos”, “La idea del escultor parecía interesante, pero al ver la obra finalizada, quedó la sensación de que falló en la ejecución”.

- **Resistencia Potencial.-**

Es la resistencia que alcanzará el hormigón en condiciones ideales de compactación, curado en ambiente en las condiciones normalizadas de humedad y temperatura establecidas en norma y realizando el ensayo bajo condiciones normalizadas.

- **Resultado de un ensayo.-**

Es el promedio, como mínimo, de las resistencias de dos probetas tomadas de la misma muestra ensayadas a la edad de 28 días u otra especificada. Para que el resultado del ensayo se considere válido la diferencia entre resultados extremos deberá ser menor al 15% de la resistencia media. De no cumplirse el resultado será descartado investigándose las causas en caso de repeticiones sistemáticas.

- **Resistencia Efectiva.-**

Es la resistencia del hormigón que se obtiene al ensayar probetas cilíndricas moldeadas y curadas en el campo o extraídas directamente de la estructura luego del endurecimiento del hormigón. Permite medir la resistencia desarrollada por el hormigón en la estructura. Sirve también para poder tomar decisiones sobre:

cuando se pueden remover los encofrados y apuntalamientos, cuando se pueden aplicar cargas adicionales constructivas a la estructura o cuando se puede poner en servicio la estructura.

ANEXO No.- 2

FORMULARIO DE ENCUESTA PERSONAS RELACIONADAS AL HORMIGÓN

No.

ENTREVISTADO:

LUGAR Y FECHA:

No.	PREGUNTAS	SI	NO
1.-	¿Usted tiene conocimiento si en Ecuador existe una guía para evaluar estructuras de hormigón y los ensayos necesarios para realizar una diagnosis correcta?		
2.-	¿Considera usted que las acciones externas producidas por el ambiente (físicas, químicas y biológicas) afectan la durabilidad de la estructura? Por qué?		
3.-	¿Conoce si en los sistemas de reparación especificados en las estructuras actualmente se considera criterios de durabilidad para prolongar la vida útil considerada? Podría mencionar algunos que se puede recomendar y considerar:		
4.-	¿Usted considera necesario usar ensayos no destructivos para determinar con exactitud la patología de una estructura?		

5.-	<p>¿Cree que las causas más comunes para que se produzca fisuramiento en estructuras son los errores de diseño, de ejecución o de utilización?</p> <p>Por qué?</p>		
6.-	<p>Considera usted que el estudio de reactividad de los agregados combinados con nuestros cementos debe ser obligatorio en todos los proyectos y considerado en las especificaciones?</p> <p>Por qué?</p>		
7.-	<p>Usted considera que se debe realizar correcciones al código ecuatoriano de la construcción, donde no se considere la resistencia del hormigón como un parámetro de especificación sino más bien criterios de durabilidad como: relación a/c máxima, cantidad de cemento mínima, inhibidores de corrección, adiciones?</p> <p>Por qué?</p>		
8.-	<p>En general usted cree que en Ecuador se realiza un estudio adecuado de las estructuras antes de sugerir el sistema de reparación que garantice por lo menos la vida útil para la que fue diseñado?</p> <p>Conoce de alguna entidad que se dedique a esta tarea?</p>		

Gracias por su colaboración

ANEXO No.- 3

Inspección Rápida de Estructuras de Hormigón Armado

DATOS GENERALES:

Nombre: _____
 Dirección: _____ Teléfono: _____
 Barrio: _____ Ciudad: _____

No. de Pisos: _____ No. de Unidades de vivienda: _____
 Tipo de Construcción: _____ Área aproximada: _____
 Destino de la Vivienda: _____

EVALUACIÓN DEL DAÑO

1. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

	SI	NO	+/-
Daño General	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Losas y Vigas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Columnas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Marcos Planos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Conecciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prefabricadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muros de Corte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Paredes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fundaciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otros: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

	SI	NO	+/-
Chimeneas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ventanas Rotas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mampostería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Revestimientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Instalaciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Parapetos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ornamentales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cielos Rasos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ascensoras	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otros: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. PELIGRO GEOTÉCNICO

	SI	NO	+/-
Fallas superficiales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Taludes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Deslizamientos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

COMENTARIOS: _____

	SI	NO	+/-		SI	NO	+/-
Edificación desocupada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Edificación parcialmente desocupada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estimación del daño	_____ %			Estimación de pérdidas \$	_____		

INSPECTOR:

Nombre: _____
 Teléfono: _____

INSPECCIÓN:

Día: _____
 Hora: _____

CUADRO 1