



Revisión bibliográfica acerca de la fisuración como indicio potencial de patologías en estructuras de concreto reforzado

Rubén David Valencia Quinchoa
Camilo Henao Toro

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Asesor
Juan Carlos Ortiz Cardona, Especialista (Esp) en Estructuras

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Valencia Quinchoa & Henao Toro, 2024)
Referencia	Valencia Quinchoa, R. D., & Henao Toro, C. (2024). <i>Revisión bibliográfica acerca de la fisuración como indicio potencial de patologías en estructuras de concreto reforzado</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte XI.

Asesor: Juan Carlos Ortiz Cardona



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	3
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
1. Objetivos	8
1.1. Objetivo general	8
1.2. Objetivos específicos.....	8
2. Revisión de Literatura.....	9
2.1. Importancia del concreto reforzado.....	9
2.2. Composición del concreto reforzado.....	11
2.3. Durabilidad del concreto reforzado.....	11
2.4. Fisuración del concreto reforzado	12
2.4.1. Fisuras Estructurales	13
2.4.2. Fisuras No Estructurales.....	16
2.1. Patología estructural en el concreto reforzado	19
2.1.1. Definición de Patología.....	19
2.1.2. Manifestación de patologías.....	20
2.1.3. Patologías asociadas a suelos de cimentación.....	21
2.2. Estado Límite de Servicio	23
2.3. Métodos de Evaluación: Destructivos y No Destructivos.....	24
2.4. Relación de mecanismos de falla en estructuras con suelos de cimentación	24
3. Caso de estudio	27
3.1 Información Disponible.....	28
4. Análisis de resultados	34

5. Conclusiones35

6. Recomendaciones36

Referencias37

Resumen

Las fisuras en las estructuras de concreto reforzado aporticadas son un fenómeno común que puede afectar significativamente la durabilidad y el desempeño de estas construcciones. Este trabajo se enfoca en resaltar la importancia de las fisuras como indicadores de posibles patologías estructurales y la necesidad de una correcta identificación y tratamiento de las mismas, para garantizar la seguridad y funcionalidad de las estructuras a lo largo del tiempo.

A través de una revisión bibliográfica exhaustiva, se analizan las principales patologías asociadas a las fisuras en las estructuras aporticadas, tales como la corrosión del acero de refuerzo, la carbonatación del concreto, el ataque por sulfatos, los efectos de la fatiga, entre otras. Estas patologías, si no se abordan adecuadamente, pueden comprometer la integridad estructural y acortar la vida útil de la construcción.

Además, se discuten las causas más comunes de fisuración, incluyendo factores relacionados con la calidad de los materiales, la ejecución de la obra, las cargas aplicadas, y las condiciones ambientales. Finalmente, se exploran métodos de evaluación y técnicas de reparación, enfatizando la necesidad de un enfoque preventivo y proactivo en la gestión de las fisuras en estas estructuras.

Este estudio subraya la importancia de entender y manejar las fisuras no solo como un defecto visual, sino como un síntoma crítico que puede preceder a problemas estructurales graves, contribuyendo así a la conservación y mantenimiento efectivo de las edificaciones de concreto reforzado aporticadas.

Palabras clave: revisión bibliográfica, fisuración, patología, estructuras, concreto

Abstract

Cracks in reinforced concrete frame structures are a common phenomenon that can affect significantly the durability and performance of these constructions. This work focuses on highlighting the relevance of cracks as indicators of potential structural pathologies and the need for proper identification and treatment, to ensure the safety and functionality of structures over time.

Through a comprehensive literature review, the main pathologies associated with cracks in framed structures are analyzed, such as reinforcement steel corrosion, concrete carbonation, sulfate attack, the effects of fatigue, among others. If they are not properly addressed, these pathologies can compromise structural integrity and shorten the lifespan of the construction.

Additionally, the most common causes of cracking are discussed, including factors related to material quality, construction executions, applied loads, and environmental conditions. Finally, evaluation methods and repair techniques are explored, emphasizing the need for a preventive and proactive approach in managing cracks in these structures.

This study underscores the relevance of understanding and managing cracks, not only as a visual defect, but as a critical symptom that can precede serious structural issues, thereby contributing to the effective preservation and maintenance of reinforced concrete frame buildings.

Keywords: literature review, cracks, pathology, structures, concrete

Introducción

Las estructuras de concreto reforzado aporticadas son fundamentales en la ingeniería civil moderna, desempeñando un papel crucial en la construcción de edificaciones y otras infraestructuras. Sin embargo, como cualquier material de construcción, el concreto está sujeto a diversas formas de deterioro a lo largo del tiempo. Uno de los indicadores más comunes y críticos de este deterioro son las fisuras, que pueden aparecer debido a una variedad de factores, desde la calidad de los materiales hasta las condiciones ambientales y las cargas aplicadas.

Las fisuras en las estructuras de concreto no solo afectan la estética de la edificación, sino que también pueden ser señales tempranas de patologías estructurales que, si no se diagnostican y tratan adecuadamente, pueden comprometer la integridad y seguridad de la construcción. La importancia de estas fisuras radica en su capacidad para indicar problemas más profundos, como la corrosión del acero de refuerzo, la carbonatación del concreto, y otros procesos de degradación que pueden reducir significativamente la vida útil de la estructura.

En este contexto, la presente monografía tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de las fisuras en estructuras de concreto reforzado aporticadas, asociándolas con las patologías más comunes que estas pueden indicar. Se busca resaltar la importancia de una adecuada identificación y gestión de estas fisuras para garantizar no solo la durabilidad de las estructuras, sino también la seguridad de las personas que las utilizan.

La revisión abarca diversos estudios y casos documentados que ilustran cómo las fisuras pueden evolucionar en problemas mayores si no se abordan de manera oportuna. Además, se explorarán las causas subyacentes de la fisuración y se discutirán los métodos de evaluación y técnicas de reparación más efectivos, con el fin de proponer un enfoque preventivo y proactivo en la gestión de estas patologías.

Este trabajo subraya la necesidad de una comprensión profunda de las fisuras en el concreto reforzado, en estructuras aporticadas, no solo como un problema técnico, sino como un factor crítico para la seguridad humana y la conservación de las infraestructuras a lo largo del tiempo

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica sobre el comportamiento de las fisuras en el concreto reforzado, examinando los distintos tipos de fisuras, las condiciones que provocan su formación y su posible correlación con patologías estructurales.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las causas principales asociadas a las patologías en las estructuras de concreto reforzado
- Analizar el uso de métodos para la evaluación de patologías en estructuras de concreto reforzado.
- Evaluar el comportamiento de las estructuras de concreto reforzado que presentan patologías.

2. Revisión de Literatura

2.1. Importancia del concreto reforzado

El concreto reforzado ha sido ampliamente utilizado en la construcción y la ingeniería civil desde mediados del siglo XIX (Hossam et al., 2023). En Colombia, aproximadamente el 80% de las estructuras se construyen con este material, cuyo deterioro afecta negativamente su durabilidad y vida útil (Kayondo, 2019). Este deterioro reduce la rigidez y provoca discontinuidades en los elementos estructurales, por lo que su detección resulta imprescindible para evitar daños y posibles fallos (Mohan & Poobal, 2018). Es crucial reconocer las patologías asociadas para desarrollar estrategias efectivas de intervención y mitigación, especialmente ante eventos sísmicos (Fabio et al., 2021).

Colombia, en términos de normatividad, se encuentra atrasada respecto a otros países (Figuroa & Palacio, 2018). Como consecuencia, en la etapa constructiva, los elementos estructurales presentan deficiencias con respecto a las especificaciones, lo que se asocia a diversas patologías que no brindan seguridad a la vida humana. Las patologías comunes incluyen la corrosión de las armaduras, la fisuración del concreto y la carbonatación. A esto se suman los diferentes factores inherentes a las propiedades de los materiales, relacionados con eventos naturales que producen diferentes mecanismos de falla, como se muestra en la Figura 1.

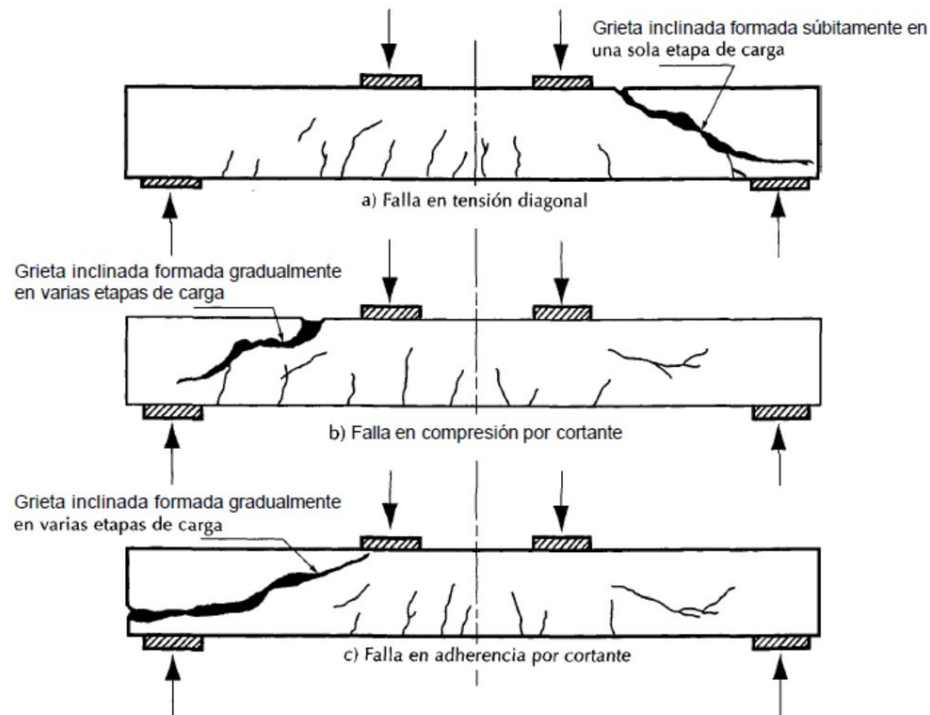


Figura 1. Fisuras estructurales en elementos de RC, Tomado de : <https://gmoralexv2.weebly.com/iii-esfuerzo-cortante-y-tensioacuten-diagonal.html>

La conservación de las estructuras patrimoniales es de suma importancia, ya que representan un valor histórico y cultural significativo. El desarrollo y la aplicación de métodos no destructivos de evaluación son fundamentales para preservar estas estructuras sin causarles daño adicional. Técnicas como la tomografía de concreto, los ensayos ultrasónicos y el uso de radar de penetración terrestre permiten evaluar el estado del concreto y detectar patologías sin comprometer la integridad de los edificios patrimoniales (Solla et al. 2024).

Para mitigar estos problemas, es fundamental actualizar las normativas de construcción y adoptar tecnologías avanzadas de monitoreo y mantenimiento. La implementación de técnicas como el monitoreo estructural mediante sensores y la utilización de materiales más resistentes y duraderos puede mejorar significativamente la seguridad y la durabilidad de las estructuras. Además, la formación continua de los profesionales del sector y la adopción de mejores prácticas constructivas son esenciales para asegurar la calidad de las obras y proteger la vida humana ante posibles fallos estructurales.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica basada en la observación de fisuras en las estructuras de concreto, que se asocian a las diferentes patologías en sistemas de pórticos.

Entrando en materia, inicialmente se considera relevante hacer una breve descripción de la teoría referente a la fisuración y a las patologías en estructuras de concreto reforzado, así mismo, como una mención al estado del arte de estos temas en la actualidad.

2.2. Composición del concreto reforzado

El concreto es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua que tiene una alta resistencia a compresión y muy baja resistencia a la tensión. Para mejorar su resistencia a la tensión se combina con el acero y a este se le denomina concreto reforzado (McCormac, 2012). Su comportamiento mecánico en estado endurecido se define primordialmente de acuerdo con (Cruz & Herrera, 2016) :

1. Las características, composición y propiedades de la pasta endurecida
2. La calidad de los agregados
3. La capacidad de trabajar en un conjunto de los agregados y la pasta
4. Tipo y forma del agregado
5. Relación Agua/Cemento
6. Tipo de cemento

La afectación en alguna de estas características se presenta como una degradación en el comportamiento físico mecánico del concreto reforzado donde el factor más influyente es la relación agua cemento (A/C).

2.3. Durabilidad del concreto reforzado

La durabilidad se refiere a la habilidad de las estructuras de concreto reforzado para mantener sus propiedades físicas y químicas sin alteraciones a lo largo de su vida útil, aun cuando

están expuestas a la degradación del material debido a diversas cargas y esfuerzos contemplados en su diseño estructural (Millán, 2022). Es habitual que los códigos y normas vigentes solo especifiquen las variaciones adecuadas de la relación agua/cemento y el espesor del recubrimiento de concreto sobre el acero de refuerzo, basándose en una clasificación bastante simple de las condiciones de exposición. No obstante, en la práctica se presentan una mayor diversidad de condiciones de exposición, no solo vinculadas al entorno ambiental, sino también al uso previsto de la estructura (García & Rozo, 2020) siendo este un parámetro importante a tener en cuenta para predecir de manera casi acertada la vida útil que puede llegar a tener una estructura

2.4. Fisuración del concreto reforzado

Una vez entendida la importancia del concreto reforzado en la actualidad, se vuelve necesario estudiar minuciosamente el fenómeno de la fisuración y su vinculación a patologías; esto con el fin de estudiar los diferentes tipos que hay, su identificación y las estrategias que permiten su prevención o su tratamiento.

Inicialmente, se define la fisuración en concreto reforzado como la formación de grietas de diversas características en estructuras sometidas a diferentes tipos de cargas, desde cargas por uso hasta cargas ambientales. Estas fisuras pueden variar en forma, longitud y anchura dependiendo del fenómeno que las genere (Askar, 2023).

La Figura 2 pretende ilustrar de manera sencilla los diferentes tipos de fisuras que se pueden encontrar en las estructuras.

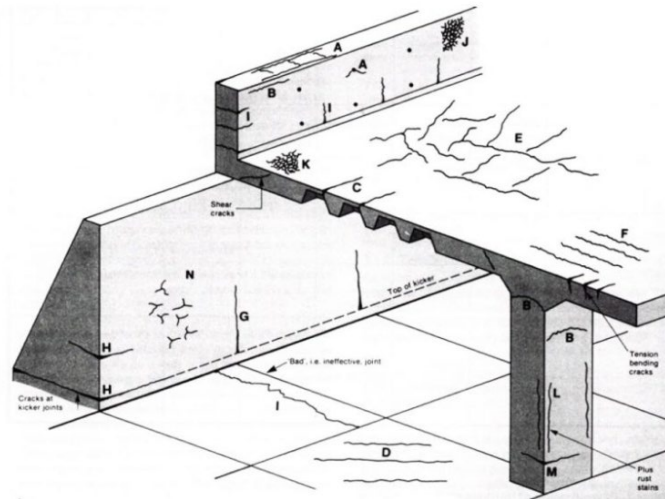


Figura 2. Tipos de fisuras en concreto reforzado, Tomado de: : <https://cemsolutions.org/types-of-cracks-in-concrete/>

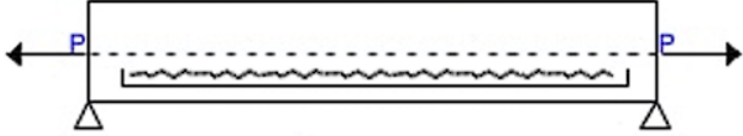
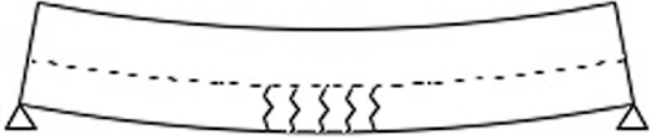
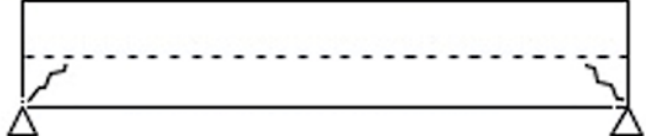
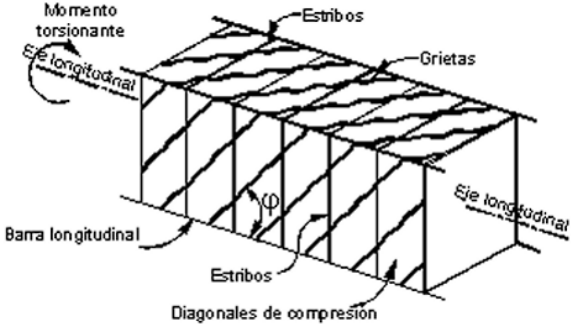
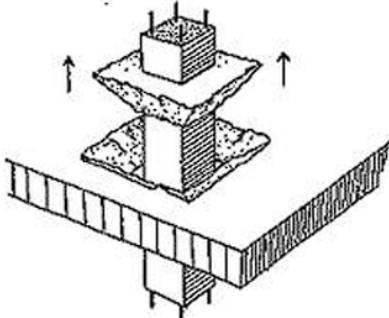
2.4.1. Fisuras Estructurales

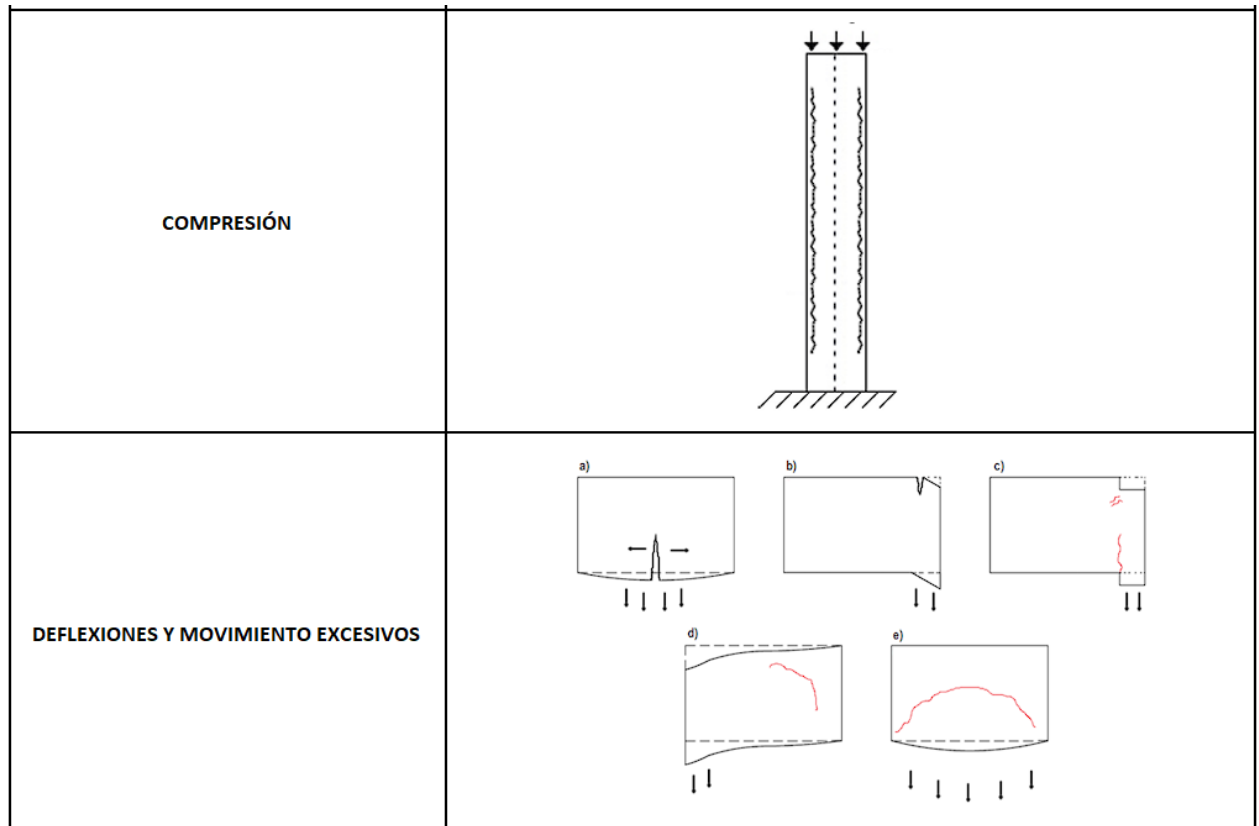
- Fisuras por aplicación de cargas exteriores.

Las cargas aplicadas a una estructura, por su propia naturaleza de generar esfuerzos, pueden causar grietas en la misma, dependerá del tipo de aplicación de la carga, si son cargas permanentes, no permanentes o periódicas; la magnitud de la carga, y su efecto en los elementos estructurales, ya sea de flexión, cortante, axial o torsión (Askar, 2023).

Estas fisuras normalmente se manifiestan paralelas y de longitud corta y ancho de grieta reducido, además, una separación corta unas de otras (Universidad Politécnica de Madrid, 2003). Los planos que se pueden generar, dependen del tipo de esfuerzo al que se somete el elemento estructural, estos pueden se definen como se muestra a continuación según Betancur y Chavarro (2018) :

Tabla 1. Fisuraciones inducidas por cargas. Adaptado de : Betancur & Chavarro (2018).

TIPO DE FISURAS	ESQUEMAS DE FISURACIÓN
TRACCIÓN PURA	
FLEXIÓN	
CORTANTE	
TORSIÓN	
PUNZONAMIENTO	



- Fisuras por deformaciones impuestas.

El desarrollo de fisuras por deformaciones impuestas está asociado al nivel y tipo de restricción que se tiene en las conexiones en los elementos de concreto reforzado. Esto se asocia a los cambios de temperatura o humedad, en donde, al generarse un cambio en el volumen del elemento, se induce a esfuerzos internos debido a esas restricciones mencionadas inicialmente, lo que, a su vez, se asocia a fisuras naturales en el concreto (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

Estas fisuras se caracterizan por ser largas y espaciadas unas de otros varios metros, ya que en general no llegan a estabilizarse. Si no se dispone de un adecuado refuerzo, estas fisuras pueden agrandarse significativamente y perjudicar la integridad de la estructura (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

- Fisuras por errores de diseño.

Las fisuraciones también pueden ser producto de un mal diseño estructural (errores en el cálculo de las estructuras). Hay varios puntos dentro del cálculo que pueden generar este fenómeno una vez construida la estructura, como por ejemplo: la elección incorrecta de la resistencia del concreto; no considerar todas las cargas a las que se encontrará sometida la estructura, o en su defecto considerar valores inferiores a los reales, o no especificar en planos las cargas máximas consideradas para alguna zona de importancia; un incorrecto cálculo del acero de refuerzo; un dimensionado inadecuado, o que no cumpla las estipulaciones mínimas de la norma de diseño; y en general, una inadecuada revisión detallada de todas las hipótesis de diseño (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

- Fisuras por retracción plástica.

Las fisuras por retracción plástica se encuentran asociadas a no realizar un correcto proceso de curado una vez este se haya vaciado. La pérdida de humedad del concreto genera el fenómeno de retracción que induce a la aparición temprana de grietas y fisuras.

Estas fisuras no tienen una forma específica, tienden a aparecer en direcciones aleatorias (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

- Fisuras por asentamiento plástico.

Estas grietas se asocian a prácticas deficientes en términos de proceso constructivo, como el inadecuado vibrado del concreto en su proceso de fundición. Estas fisuras son de aparición temprana, solo unas horas después de haberse vaciado el elemento estructural. Pueden evitarse mediante la correcta vibración del concreto, o induciendo la entrada de aire en el mismo (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

Estas fisuras se caracterizan por presentarse paralelas al refuerzo transversal del elemento y de longitud considerable. En elementos sometidos a compresión, como las columnas, estas fisuras tienden a cerrarse (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

2.4.2. Fisuras No Estructurales

- Fisuras por cambios de temperatura.

El concreto, al igual que todos los materiales, sufre cambios de volumen debidos a los cambios de temperatura. Este cambio en el volumen se traduce en deformaciones internas las cuales se asocian a esfuerzos de compresión y tracción que poco a poco generan fisuras a lo largo de todo el elemento estructural; esto dependerá en gran medida de la recurrencia y la magnitud del cambio de temperatura (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

- Fisuras por corrosión del acero de refuerzo

Las fisuras por corrosión pueden generarse debido a la carbonatación del recubrimiento o la penetración de cloruros al refuerzo de un elemento de concreto reforzado. El proceso de corrosión del acero se asocia a un aumento en su volumen de hasta 17 veces, este cambio genera esfuerzos indebidos en el concreto que resulta en la aparición de fisuras. Este proceso es más común de lo que se puede pensar, y es debido a esto que todas las estructuras tienen una vida útil, la cual es muy dependiente de la protección que se le puede dar al refuerzo ante este fenómeno (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

Este tipo de fisuras se presentan paralelas al acero longitudinal, por lo que se asocia a fisuras de gran longitud (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

- Fisuras por sulfatos.

El ataque de sulfatos en elementos de concreto reforzado es de gran importancia debido a que puede comprometer significativamente el estado del mismo. Es considerado uno de los fenómenos más nocivos para la integridad estructural. Este ocurre cuando el concreto entra en contacto con materiales que contienen yeso y no ha sido protegido por medio de elementos sulforresistentes (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

Las características de estas fisuras son difíciles de describir. Al ser un fenómeno tan nocivo, las fisuras se presentan de múltiples formas, incluso deformaciones drásticas en la geometría del elemento estructural como se presenta en la Figura 3 (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

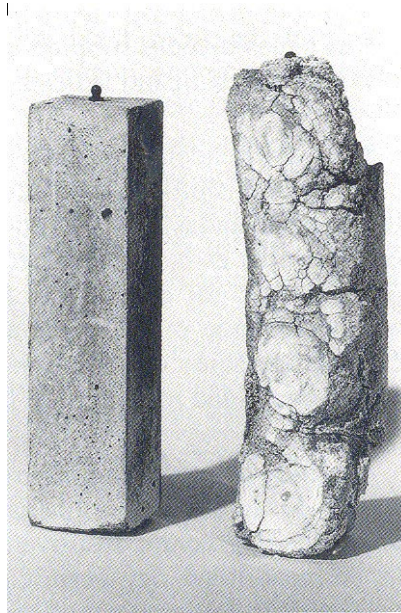


Figura 3. Fisuración del concreto reforzado por sulfatos, Tomado de: : Guia patologías de constructivas, estructurales y no estructurales

- Fisuras por reacción árido-álcalis.

Otro tipo de fisuración asociado a reacciones químicas (al igual que en fisuración por sulfatos) son las debidas a reacciones árido-álcalis. Este fenómeno se presenta con ciertos concretos específicos, y en algunas ocasiones se puede solventar de maneras prácticas y sencillas, como una adecuada dosificación del concreto o una correcta elección del cemento a utilizar. Habrá casos en donde se requerirá hacer un análisis más detallado dependiendo de las condiciones (Universidad Politécnica de Madrid, 2003).

Estas patologías no solo pueden comprometer la integridad estructural, sino que también están influenciadas por condiciones del suelo de cimentación y mecanismos de falla estructural.



Figura 4 Grietas aleatorias con eflorescencia en la parte inferior de una losa elevada. Tomada de : Reparación de grietas”. Cap. 5.2 en Renovación estructural de edificios: métodos, detalles y ejemplos de diseño

2.1. Patología estructural en el concreto reforzado

2.1.1. Definición de Patología

La patología estructural se define como las excedencias de capacidad de los materiales para permanecer en el intervalo elástico de su comportamiento, manifestadas comúnmente en forma de fisuras en la estructura (Hossam et al., 2023) y su origen tienen un elevado porcentaje en las etapas de planeamiento y proyecto como se muestra en la Figura 5 (Helena & Pereira, 2003).

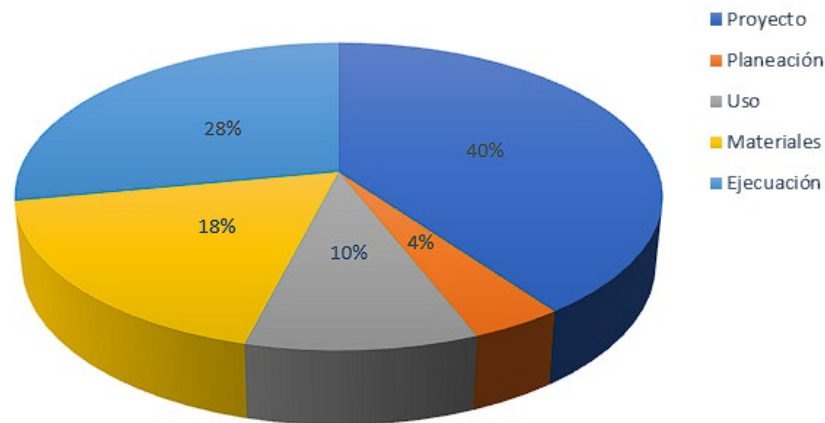


Figura 5. Origen de los problemas patológicos con relación a las etapas de producción y uso de las obras civiles, Adaptado de : Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón. Reparación, Refuerzo y protección

2.1.2. Manifestación de patologías

Las patologías en el concreto reforzado pueden manifestarse de diferentes maneras, las cuales se asocian al fenómeno en sí que las generan. Como se ha mencionado en el transcurso de la revisión, una de las principales manifestaciones del concreto cuando sufre una patología es la fisuración; sin embargo, las patologías se pueden manifestar de diferentes maneras, pero que no serán objeto de estudio en la presente revisión.

Para conocimiento general del lector, se presenta la Figura 6, donde se describen diferentes posibles manifestaciones en el concreto ante alguna patología.

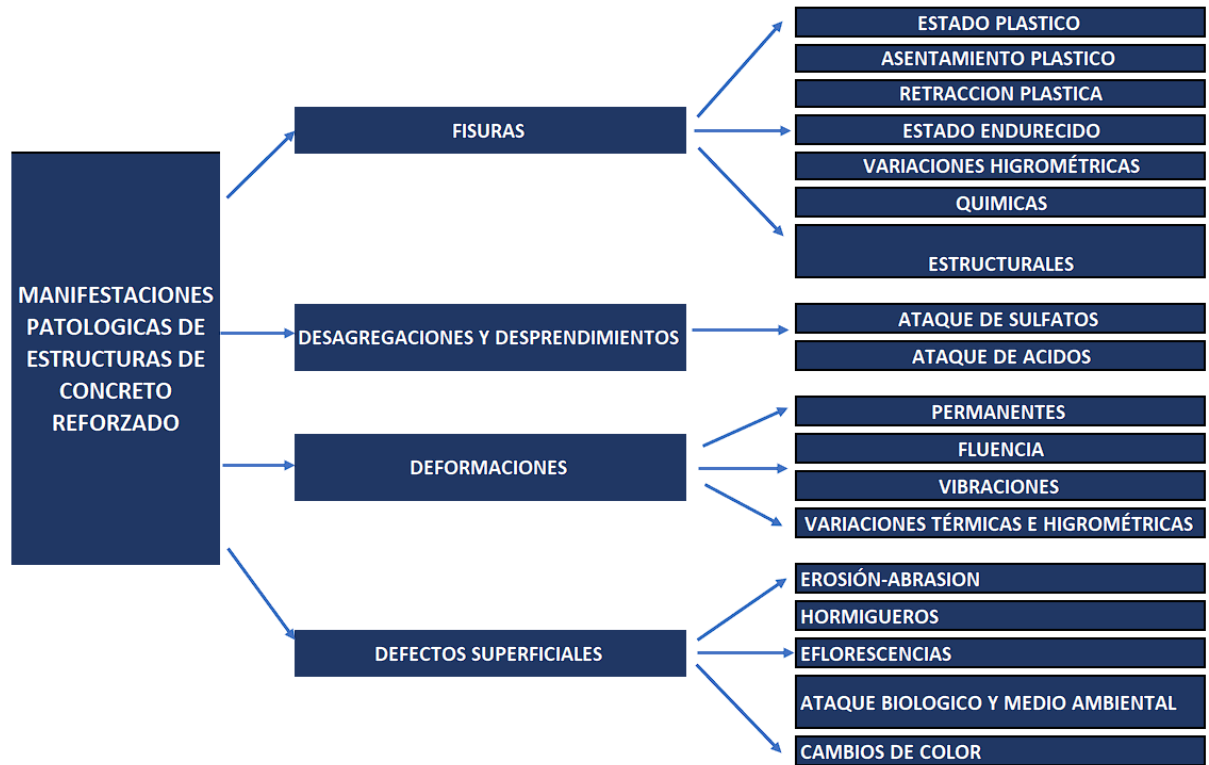


Figura 6. Manifestaciones patológicas de estructuras de CR, Fuente: Elaboración propia

2.1.3. Patologías asociadas a suelos de cimentación

El suelo es quien se encarga de recibir las cargas de la estructura donde se presentan pequeñas deformaciones que son contempladas durante el diseño, sin embargo, existen diferentes factores tales como la humedad que afectan negativamente sus propiedades y se pueden presentar asentamientos relativos entre los apoyos como se indica en la Figura 7. (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá [FOPAE] & Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], 2011).

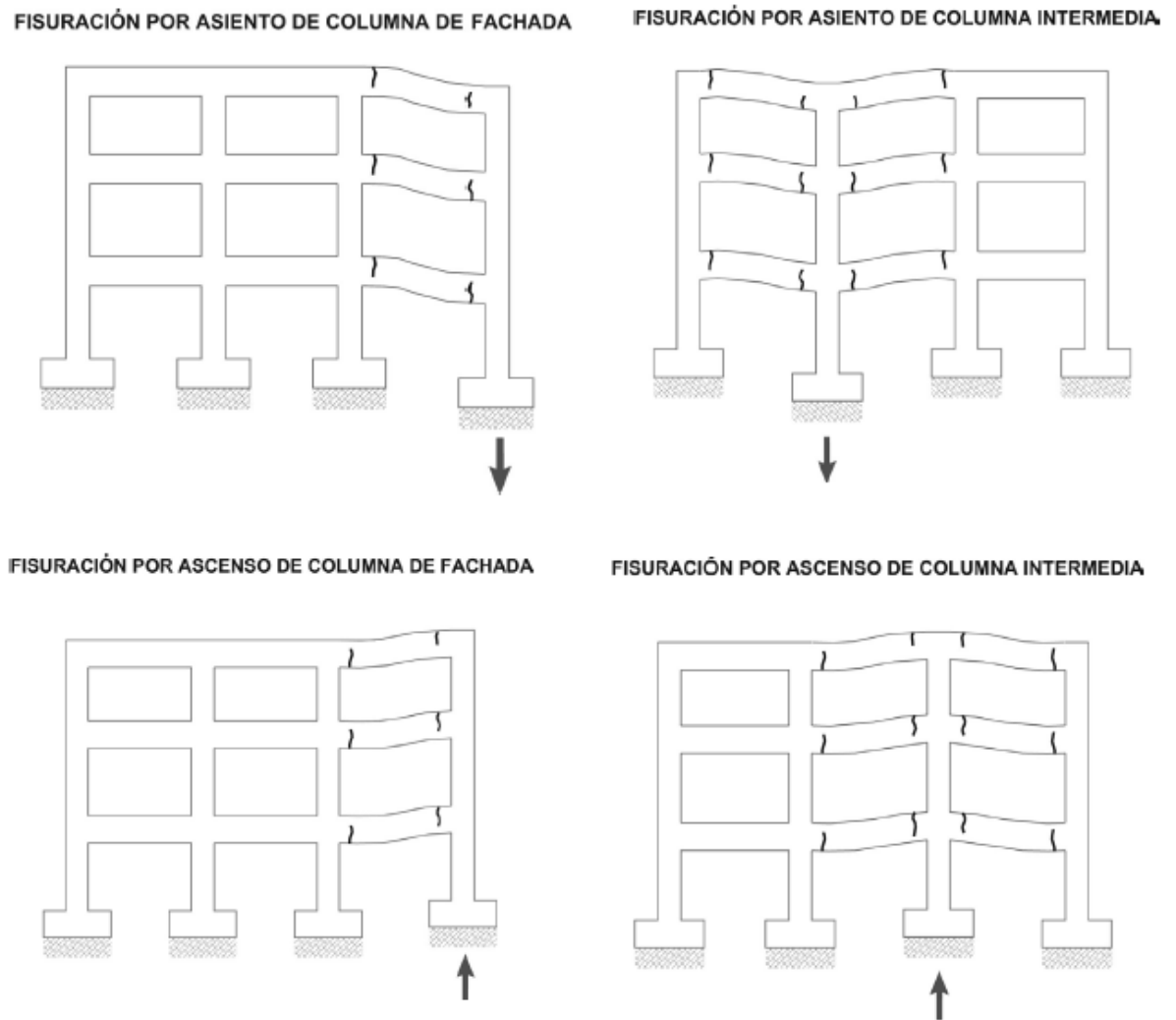


Figura 7. Fisuraciones por asentamientos relativos en los apoyos. Tomado de Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales

Se hace importante también hacer una recopilación de las hipótesis generales del marco teórico de la Ingeniería Civil, que den un indicio de los conceptos y las metodologías de gran importancia para el adecuado cálculo de las estructuras; ya que este es el primer paso a tener en cuenta para el control de la fisuración y la prevención de patologías en la construcción proyectada.

A continuación, es relevante abordar las rutas de colapso en las estructuras, ya que entender estos mecanismos es crucial para prevenir fallos catastróficos. Las rutas de colapso describen el proceso por el cual una estructura sufre un colapso progresivo debido a la acumulación de daños locales que se propagan a través de la estructura. Identificar y analizar estas rutas es esencial para

desarrollar estrategias de intervención que puedan evitar el colapso total de la estructura, especialmente en zonas sísmicas o en condiciones adversas (Martinez, 2023) para ello introducimos algunos conceptos claves como los que se presentan a continuación.

2.2. Estado Límite de Servicio

El estado límite de servicio se define como las condiciones de funcionamiento que garantizan la adecuación de una estructura para su uso previsto, sin experimentar deformaciones, vibraciones o agrietamientos que puedan comprometer la funcionalidad, durabilidad o confort de los usuarios (Comité Euro-Internacional du Béton & Fédération Internationale de la Précontrainte, 1993).

Una vez se materializan los efectos de las diferentes manifestaciones patológicas que la estructura pueda llegar a presentar, esta puede pasar por una gama de estados como se muestra en la Fig. 5.

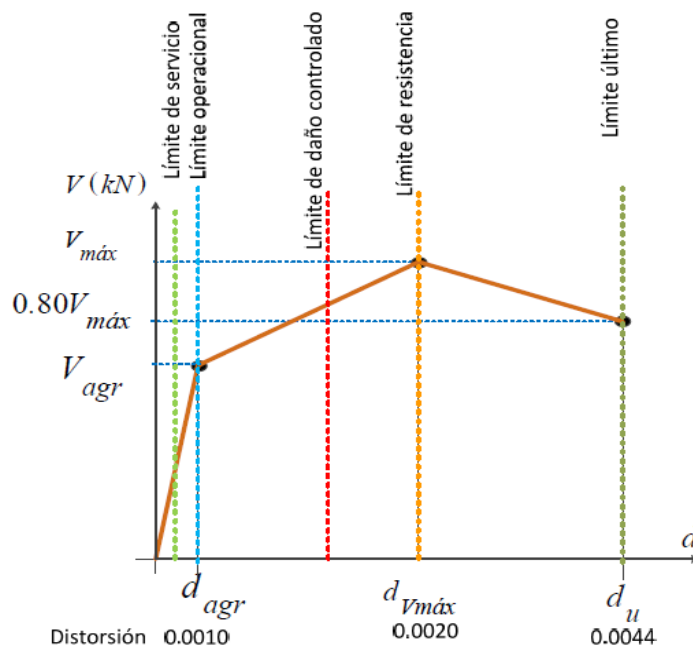


Figura 8. Estado límite de estructuras de concreto reforzado, Tomado de : https://www.researchgate.net/figure/Fig-No02-Distorsion-dano-y-estado-limite_fig2_304949788

Como se mencionaba, existe una pérdida de rigidez, que se refiere a la capacidad de un material o estructura para resistir deformaciones bajo la aplicación de fuerzas, determinada por la relación entre la fuerza aplicada y la deformación resultante. Además, se presenta una menor ductilidad, que es la capacidad de un material para deformarse plásticamente bajo cargas sin romperse, permitiendo absorber energía y sufrir grandes deformaciones antes de fallar (Callister & Rethwisch, 2018). En la estructura, esto se manifiesta con deflexiones excesivas, vibraciones no deseables y un ancho excesivo de grietas cuya magnitud varía desde el punto de vista funcional.

Una vez se alcanza el estado último, se pone en riesgo la integridad de la estructura y esta es susceptible a cualquier evento que se pueden definir en función de la inestabilidad, pérdida de equilibrio, pandeo elástico, fatiga, rotura, colapso progresivo y formación de mecanismos plásticos (Escobar et al. 1999). Para evaluar el estado de la estructura se pueden recurrir a dos métodos que se describen a continuación :

2.3. Métodos de Evaluación: Destructivos y No Destructivos

Métodos Destructivos son aquellos que involucran la extracción de muestras o la aplicación de técnicas que alteran la estructura y los métodos no destructivos permiten evaluar la condición de una estructura sin dañarla significativamente, utilizando tecnologías como ultrasonido, termografía y GPR (Comité Euro-Internacional du Béton, 2015; Kayondo, 2019). Además de esto, existen otras patologías y mecanismos de falla que son importantes de mencionar

2.4. Relación de mecanismos de falla en estructuras con suelos de cimentación

La interacción entre las condiciones del suelo de cimentación y los mecanismos de falla estructural es crucial para comprender la aparición y desarrollo de patologías en estructuras de concreto.

Una vez realizada la recopilación de información relevante respecto a los conceptos de fisuración y patologías en estructuras de concreto reforzado, es importante describir el estado actual de los temas mencionados, con el fin de proyectar las futuras investigaciones hacia nuevas

estrategias de prevención que impulsen el mejoramiento de la vida útil de las estructuras, sin comprometer la seguridad de la población general.

Durante las últimas décadas, se han llevado a cabo extensas investigaciones para comprender los mecanismos de fisuración, desarrollar modelos predictivos y proponer estrategias de solución. En la actualidad, todavía es un tema de constante investigación, esto es porque, como se mencionó anteriormente, el concreto reforzado sigue siendo uno de los materiales más versátiles en la construcción de diferentes tipos de estructuras, debido a diferentes ventajas con respecto a otros materiales. Se han identificado los factores que influyen en la formación de grietas (Askar, 2023).

Las características de los materiales dispuestos para la conformación del concreto reforzado, como la resistencia, el módulo de elasticidad y otras propiedades mecánicas afectan su susceptibilidad al agrietamiento. En términos de relación agua/cemento del concreto, cuanto mayor sea esta relación, mayor será la retracción durante el curado y endurecimiento, y mayor será la probabilidad de agrietamiento.

Las cargas aplicadas a una estructura, por su propia naturaleza de generar esfuerzos, pueden causar grietas en la misma, dependerá del tipo de aplicación de la carga, si son cargas permanentes, no permanentes o periódicas; la magnitud de la carga, y su efecto en los elementos estructurales, ya sea de flexión, cortante, axial o torsión (Askar, 2023).

La retracción del concreto reforzado durante el curado, y la contracción plástica, pueden causar grietas debido a la restricción por parte del acero de refuerzo. Como se mencionó anteriormente, está estrechamente relacionado a la relación agua/cemento.

Las fluctuaciones de temperatura pueden causar expansión y contracción térmica del concreto, lo que puede provocar grietas, especialmente en estructuras expuestas a fluctuaciones extremas de temperatura.

Se han desarrollado varios modelos para predecir grietas en estructuras de concreto reforzado. Estos modelos varían en complejidad, y van desde enfoques empíricos hasta modelos

basados en principios físicos y numéricos. Los modelos más utilizados son: Modelos de grietas basados en criterios de resistencia, modelos de formación de grietas basados en la mecánica de fracturas y modelos de grietas basados en elementos finitos (Golewski, 2023).

Hasta la actualidad se han propuesto varias estrategias para reducir los efectos de las grietas en estructuras de concreto reforzado, que incluyen: incorporación de fibras de refuerzo como fibras de acero, fibras de vidrio y fibras poliméricas para mejorar la tenacidad y resistencia al agrietamiento del concreto; detalles estructurales que minimicen las concentraciones de tensión y reduzcan la probabilidad de agrietamiento; el uso de juntas de construcción apropiadas, detalles de refuerzo y de conexiones; entre otros métodos (Golewski, 2023).

3. Caso de estudio

La Asociación Universitaria de Antioquia, ubicada en la carrera 50 #60-39, es una residencia estudiantil que, desde su fundación, aproximadamente en 1950, ha albergado a estudiantes de educación superior provenientes de fuera del área metropolitana. El edificio, una casa patrimonial de tres niveles con estructura a porticada, se encuentra emplazado en una ladera y ha experimentado el desgaste propio de su antigüedad. En la actualidad, presenta fisuras en varios de sus elementos estructurales y no estructurales, lo que plantea la necesidad de un análisis detallado de su estado. Estas fisuras, observadas en columnas, vigas y muros, pueden ser indicativas de problemas en la cimentación, sobrecarga, o posibles deficiencias en el mantenimiento a lo largo del tiempo. El análisis de las patologías derivadas de estas fisuras es esencial para determinar la viabilidad de intervenciones estructurales que aseguren la estabilidad y habitabilidad del inmueble.

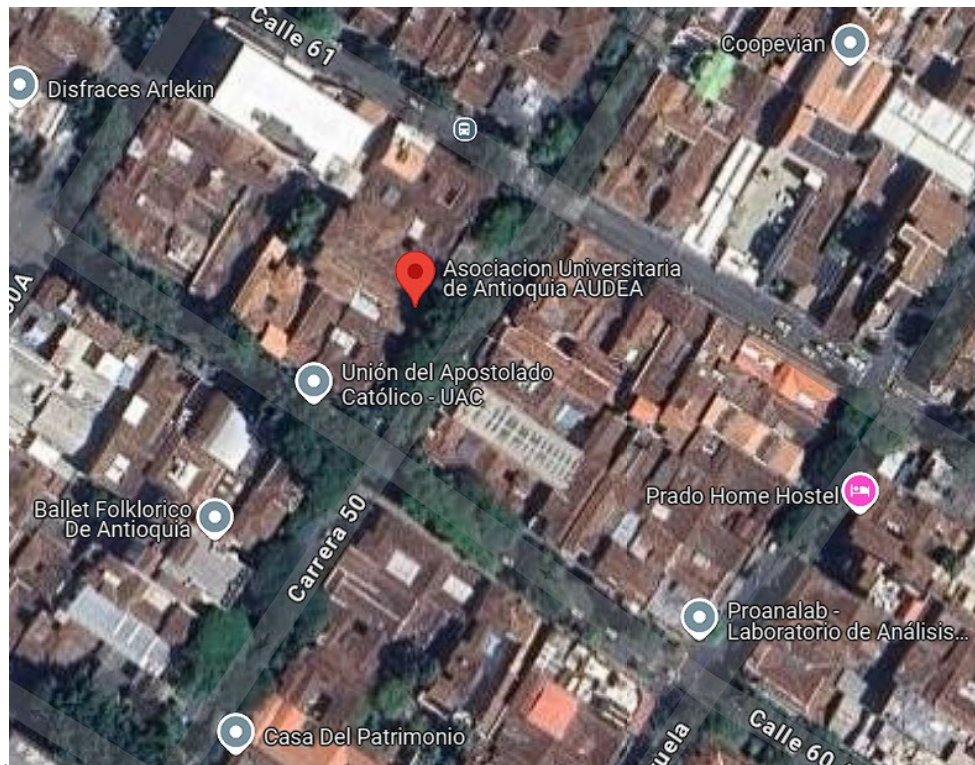


Figura 9. Ubicación Asociación Universitaria de Antioquia en Google Maps (Google, 2024)



Figura 10. Fachada de la Asociación Universitaria de Antioquia, tomada por los autores, 2024

3.1 Información Disponible

En cuanto a la información estructural disponible, cabe destacar que la casa únicamente cuenta con planos arquitectónicos, y no se tiene conocimiento de los planos estructurales, eléctricos y sanitarios, lo cual limita el análisis técnico más profundo del estado del edificio. A finales del año 2018, se reportó un daño significativo en la acometida, el cual causó la licuefacción del suelo o generó un fenómeno de subsidencia en la zona. Sin embargo, en ese mismo año se procedió al cambio de la acometida para mitigar el impacto del daño. Adicionalmente, a inicios de 2018, se presentaron filtraciones de agua en el nivel superior debido al deterioro del tejado, lo que también fue reparado con el objetivo de prevenir mayores daños por humedad.

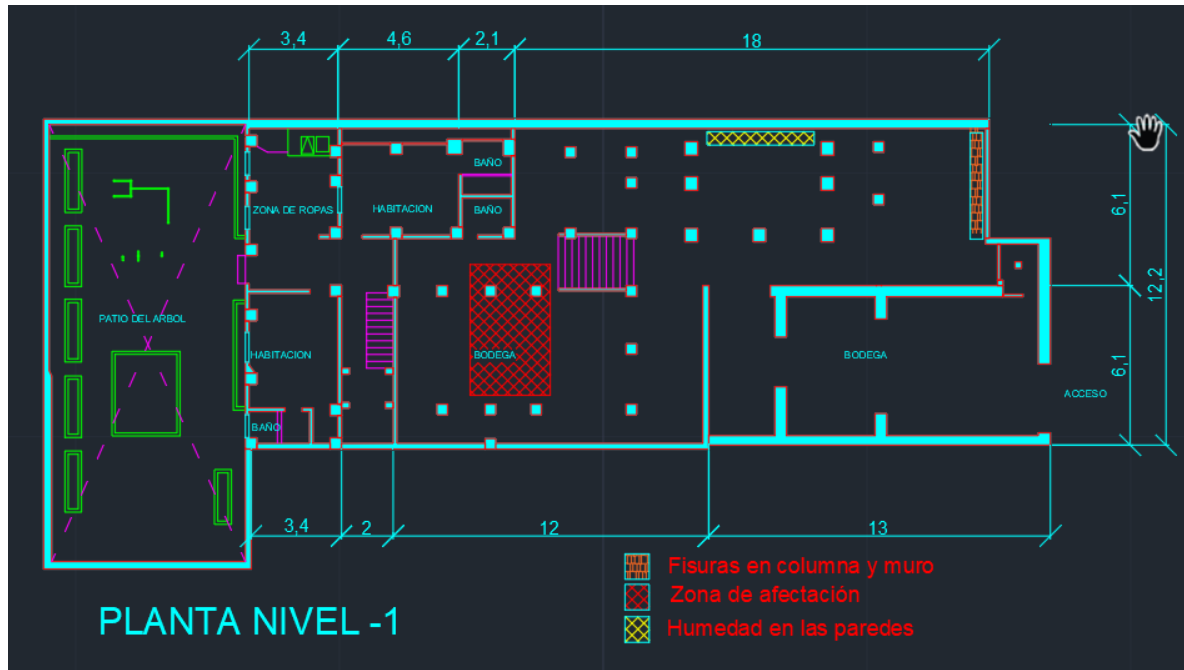


Figura 11. Plano arquitectónico planta baja. Elaborado por los autores. 2024.



Figura 12. Humedad en muros y zona de afectación por daño en acometida. Elaborada por autores, 2024.

El uso actual del edificio también puede estar contribuyendo a su desgaste. El sótano, originalmente diseñado para otros fines, ha sido dispuesto como un local donde se utiliza

maquinaria textil y de pintado a altas temperaturas. Esta actividad industrial en una zona residencial podría estar afectando la estructura debido a la vibración y el calor generado. Además, en el segundo piso se ha habilitado un área para el uso de pesas, lo que implica una sobrecarga puntual que podría estar afectando tanto los pisos como los elementos estructurales cercanos. Estas condiciones subrayan la importancia de un análisis exhaustivo y detallado para evaluar la integridad del inmueble y las posibles intervenciones necesarias para garantizar su estabilidad.

Recientemente, se realizó una visita al lugar para llevar a cabo una inspección visual de las fisuras observadas en distintos elementos estructurales y no estructurales. Durante esta visita, se tomaron fotografías detalladas de las fisuras presentes en columnas, vigas, muros y en la losa de entrepiso. Estas fisuras fueron documentadas y se han clasificado según su ubicación, nivel a nivel como se indica en la Figura 12 y Figura 13, de acuerdo con los planos arquitectónicos disponibles. Esta documentación gráfica es esencial para evaluar la magnitud y el tipo de deterioro que afecta cada uno de los elementos del edificio, facilitando el posterior análisis técnico que permitirá determinar las causas de las fisuras y las medidas correctivas que deberán implementarse para mitigar los riesgos y asegurar la estabilidad estructural de la edificación.

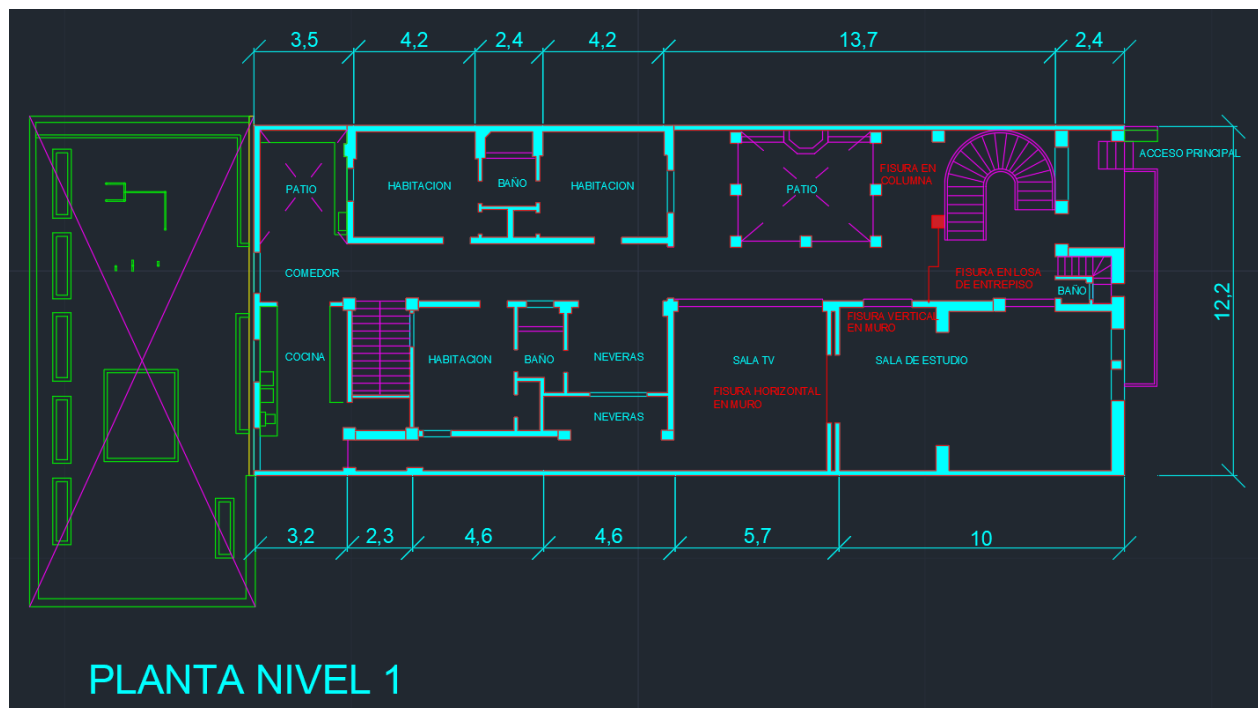


Figura 13. Fisuraciones en la planta del nivel 1. Elaborado por los autores, 2024.



Figura 14. Fisuración horizontal en muro y en columna primer nivel. Elaborado por los autores, 2024.

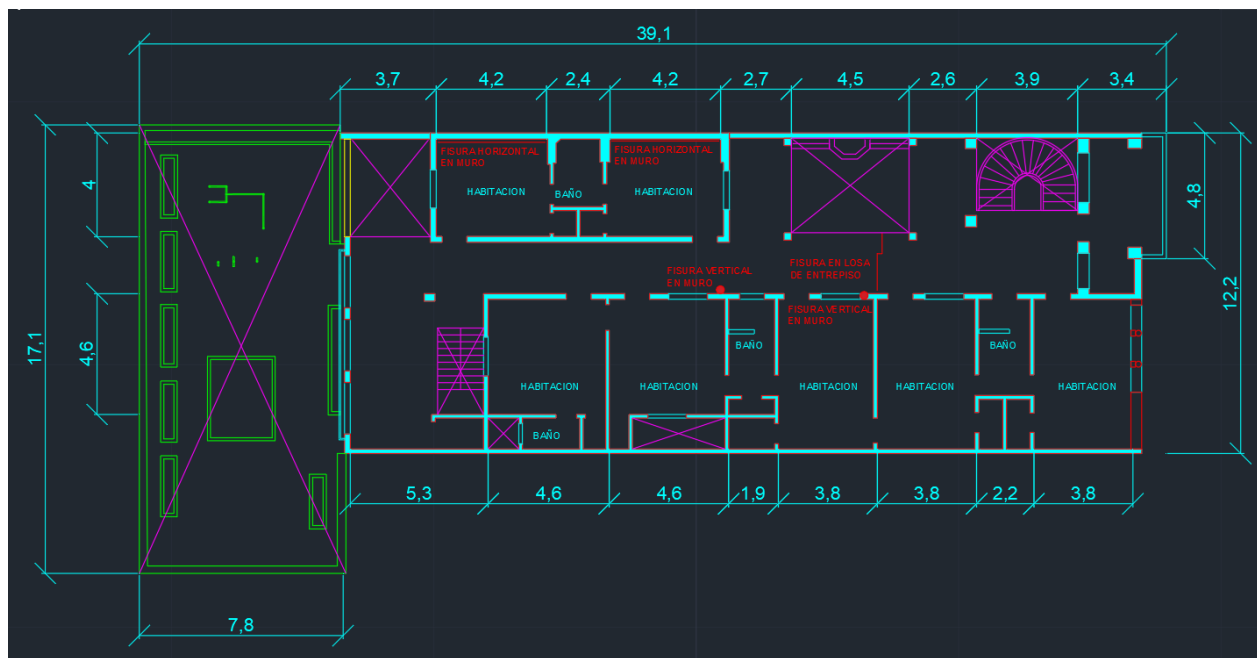


Figura 15. Fisuraciones en la planta del nivel 2. Elaborado por los autores, 2024.



Figura 16. Fisuración en losa de entepiso del segundo nivel. . Elaborado por los autores 2024



Figura 17. Fisuración en losa de entepiso del segundo nivel. . Elaborado por los autores 2024



Figura 18. Fisuración en muro de patio del primer nivel. . Elaborado por los autores 2024

Es importante señalar que esta inspección ha sido únicamente visual, por lo que se recomienda realizar un seguimiento continuo de las fisuras para garantizar que no haya un aumento en su tamaño o gravedad. Además, se emitirán recomendaciones específicas para evitar que las actividades actuales del edificio sigan afectando la durabilidad de los elementos estructurales. Estas recomendaciones incluirán medidas preventivas y correctivas que deberán implementarse a corto y mediano plazo para mitigar los daños. Solo un monitoreo regular y una evaluación técnica más profunda permitirán asegurar la estabilidad del inmueble en el tiempo, previniendo que las condiciones actuales se deterioren aún más.

4. Análisis de resultados

El daño en la acometida, ocurrido a finales de 2018, generó un asentamiento diferencial en la zona afectada, lo que provocó desplazamientos en los elementos estructurales de una zona preferencial de la casa, principalmente en las columnas, losa de entrepiso y muros. Dado que la edificación se encuentra ubicada en una ladera, el asentamiento diferencial se concentró en la parte más baja de la casa. Sin embargo, el daño más significativo se presenta en una zona media, donde la estructura se asienta a un nivel más alto en comparación con la zona de afectación. Esta configuración geotécnica y estructural sugiere que las deformaciones en el terreno pueden haber generado esfuerzos diferenciales, afectando principalmente los elementos estructurales en esa zona.

A pesar del impacto inicial, la estructura parece haber alcanzado un nuevo estado de equilibrio, ya que no se han observado nuevas fisuras ni un incremento en el tamaño de las fisuras existentes desde que se reparó la acometida. Este comportamiento indica que la estructura ha redistribuido las cargas de manera que ha conseguido adaptarse a las nuevas condiciones del terreno y ha estabilizado su comportamiento, al menos temporalmente.

No obstante, debido a la ubicación de la edificación en una ladera y la complejidad del terreno en esta área, existe la posibilidad de que ocurran nuevos movimientos diferenciales, especialmente si las condiciones del suelo siguen cambiando. Por esta razón, es fundamental realizar un seguimiento continuo de las fisuras en las columnas, la losa de entrepiso y los muros, para garantizar que no se reactiven ni se amplíen con el tiempo. Además, un monitoreo regular del comportamiento del terreno es esencial para prevenir problemas estructurales a largo plazo.

De aparecer nuevas fisuras importantes, o que se incrementen los tamaños de las actuales fisuras de manera considerable, se puede pensar en alternativas de mejoramiento de suelos que puede tener una alta complejidad de ejecución; o también, de reforzamiento estructural, en donde exponga la estructura ante las condiciones proyectadas por medio de modelación estructural, se evalúen las fuerzas que podrán presentarse, se identifiquen los puntos críticos, y se generen los reforzamientos adecuados.

5. Conclusiones

En las estructuras de concreto reforzado, las patologías más comunes incluyen fisuras, desprendimientos, corrosión del acero de refuerzo y deformaciones excesivas. Estas fallas pueden ser causadas por diversas condiciones, como errores en el diseño, ejecución deficiente, sobrecargas, movimientos diferenciales del terreno y falta de mantenimiento adecuado. La revisión bibliográfica revela que las fisuras, en particular, son un indicador crítico de problemas estructurales que pueden comprometer la seguridad y durabilidad de las edificaciones si no se tratan oportunamente.

El caso de estudio de la casa patrimonial, ubicada en una ladera y afectada por asentamientos diferenciales, permite ilustrar cómo estos fenómenos geotécnicos pueden generar patologías específicas en las estructuras de concreto reforzado. Las fisuras observadas en columnas, losa de entrepiso y muros se originaron debido al daño en la acometida que causó una subsidencia localizada. Aunque el edificio ha alcanzado un nuevo estado de equilibrio tras las reparaciones realizadas, las fisuras existentes y el historial de asentamientos diferenciales subrayan la importancia de un monitoreo continuo.

Este caso destaca la relevancia de inspecciones visuales periódicas y la necesidad de estudios técnicos complementarios para evaluar de manera precisa la evolución de las fisuras y las condiciones del terreno. En estructuras emplazadas en terrenos inestables, como laderas, es esencial prestar especial atención a los desplazamientos diferenciales y su impacto en la estabilidad de los elementos estructurales.

Finalmente, se recomienda la implementación de medidas preventivas y correctivas para garantizar la durabilidad de la estructura y evitar el agravamiento de las patologías existentes. La correcta identificación de las causas de las fisuras y la ejecución de un seguimiento adecuado son pasos clave para preservar la integridad de edificaciones de concreto reforzado, especialmente en condiciones geotécnicas complejas.

6. Recomendaciones

En el ámbito de la patología estructural, es esencial priorizar el uso de métodos no destructivos para evaluar edificaciones antiguas, como el caso de estudio presentado. Técnicas como el ultrasonido, el radar de penetración terrestre (GPR) y la termografía infrarroja ofrecen la posibilidad de realizar análisis detallados sin comprometer la integridad de las estructuras patrimoniales. Estas herramientas permiten identificar patologías en sus etapas tempranas, facilitando una toma de decisiones informada sobre posibles intervenciones.

Asimismo, es fundamental implementar un monitoreo continuo del comportamiento de las fisuras y su evolución en los elementos de concreto reforzado. El seguimiento regular de las fisuras, complementado con modelos predictivos, permitirá anticipar posibles incrementos en su tamaño o la aparición de nuevas patologías, lo que contribuirá a una gestión más eficaz y preventiva de los daños estructurales.

En paralelo, resulta crucial investigar la interacción entre las condiciones geotécnicas y las patologías estructurales, especialmente en edificaciones ubicadas en terrenos complejos, como laderas. Los asentamientos diferenciales y otros fenómenos del suelo deben ser estudiados de manera integral junto con el comportamiento de la estructura, para prevenir futuros desplazamientos o deformaciones que puedan comprometer la estabilidad del edificio.

Finalmente, el desarrollo de planes de mantenimiento preventivo, adaptados a las características específicas de las edificaciones vulnerables, es una medida clave para prolongar su vida útil. El monitoreo periódico, acompañado de reparaciones menores oportunas, será crucial para garantizar la estabilidad y seguridad de estructuras que enfrentan factores adversos como cambios en las cargas o exposición a condiciones ambientales desfavorables.

Referencias

- American Psychological Association [APA]. (2020). *Publication Manual of the American Psychological Association* (7^a ed.). American Psychological Association.
- Askar, M. e. (2023). Cracks in Concrete Structures Causes And Treatments: A Review. Duhok: University of Duhok Journal.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica [AIS], (2011). *Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales* (3^a ed.). Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Comité Euro-Internacional du Béton [CEB] & Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP). (1993). Model Code 1990. Thomas Telford Services Ltd.
- Comité Euro-Internacional du Béton [CEB]. (2015). CEN/TR 14080: Concrete - Assessment, Repair and Rehabilitation of Buildings - Non-destructive Evaluation of the Condition of Concrete Structures - Field Methods for Extracting and Analysing Samples of Hardened Concrete (Technical Report). European Committee for Standardization.
- Escobar, P. L., Lemarie, A. L., López, M. I. (1999). Patología de estructuras de concreto reforzado: Principios fundamentales y metodología (Trabajo de grado, Escuela de ingeniería de antioquia)
- Fawzy, H. E., Kandeel, R., Farhan, M. (2023). Detection of deformations in reinforced concrete structures using modern surveying techniques, Alexandria Engineering Journal, Volume 70, Pages 191-218 , <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.02.030>.
- Figuerola, T., & Palacio, R. (2008). PATOLOGÍAS, CAUSAS Y SOLUCIONES DEL CONCRETO ARQUITECTÓNICO EN MEDELLÍN. Revista EIA, (10), 121-130.http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372008000200010&lng=en&tlng=es
- García Socha, J. D., & Rozo Ávila, J. D. (2020). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica y diagnóstico de patología estructural en el municipio de Villavicencio, caso de estudio: Edificio La Voz del Llano* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional de la Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21864>
- Golewski, G. L. (2023). The Phenomenon of Cracking in Cement Concretes and Reinforced Concrete Structures: The Mechanism of Cracks Formation, Causes of Their Initiation, Types and Places of Occurrence, and Methods of Detection—A Review. Lublin: Buildings.
- Helene, P., & Pereira, F. (2003). *Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón: Reparación, refuerzo y protección*. IBRACON.

- Kayondo, A. (2019). Impact of Soil Conditions on Structural Integrity: A Case Study of Urban Buildings in Colombia. *Journal of Structural Engineering*, 22(3), 45-62.
- M. Kayondo, R. Combrinck, W.P. Boshoff, State-of-the-art review on plastic cracking of concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 225, 2019, Pages 886-899, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.197>.
- Martinez , A. S., (2023). Metodologías para la investigación de fallas en estructuras de concreto. [en línea] Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2023 255 páginas.
- McCormac, J. C. (2012). *Diseño de concreto reforzado* (8ª ed.). Pearson Educación.
- Millán Lizárraga, E. (2022). *Estudio de la durabilidad y patologías de estructuras de concreto armado localizadas en el ambiente marino* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Sinaloa].
- Mohan, A., Poobal, S. (2018). Crack detection using image processing: A critical review and analysis, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 57, Pages 787-798, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.01.020>.
- Newman, Alexander. 2021. "Reparación de grietas". Cap. 5.2 en *Renovación estructural de edificios: métodos, detalles y ejemplos de diseño* . 2.ª ed. Nueva York: McGraw Hill.
- Sitzia, F., Lisic, C., Mirao, J. (2021). Building pathology and environment: Weathering and decay of stone construction materials subjected to a Csa mediterranean climate laboratory simulation, *Construction and Building Materials*, Volume 300, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124311>.
- Solla, M., Maté-González, M. A., Blázquez, C. S., Lagüela-López, S., Nieto, I. M. (2024), Analysis of structural integrity through the combination of non-destructive testing techniques in heritage inspections: The study case of San Segundo's hermitage (Ávila, Spain), *Journal of Building Engineering*, Volume 89, 109295, <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109295>.
- Zaki, A. e. (2021). *Cracks Evaluation of Reinforced Concrete Structure: A Review*. Yogyakarta: ebooks.