



Revisión Bibliográfica: Comportamiento e Interpretación de Fisuras en Estructuras de Concreto.

Catalina Restrepo Orozco
Carlos Eduardo Aristizábal Echeverri

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

Tutor
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	(Restrepo Orozco & Aristizábal Echeverri, 2024)
Referencia	Restrepo Orozco, C., & Aristizábal Echeverri, C. E. (2024). <i>Revisión bibliográfica: Comportamiento e interpretación de fisuras en estructuras de concreto, 2024</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte XI.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

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.

Dedicatoria

Principalmente a Dios, quien es nuestra fuente de sabiduría, fuerza y orientación. A Él dedicamos este trabajo en gratitud por sus bendiciones y por iluminarnos el camino en cada paso de este viaje. A nuestros padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificios y apoyo incansable nos han guiado y permitido llegar hasta aquí. Gracias por enseñarnos la importancia del esfuerzo y la dedicación, y por ser siempre el pilar sobre el cual hemos construido nuestros sueños.

Agradecimientos

A Dios, por ser mi guía y fortaleza, dándome la perseverancia para alcanzar este logro, a mis padres, por su amor y apoyo incondicional, quienes con su ejemplo me han guiado en cada paso de este camino. A mi abuela, por su sabiduría y fortaleza, siempre presente en mi vida. Y al ingeniero Juan Carlos Ortiz Cardona, por su valiosa orientación y generosidad en la realización de este trabajo.

Catalina Restrepo Orozco

A Dios el centro de mi vida y corazón, agradezco la fuerza y luz en todo momento. A mis padres, mi madre por sus noches en vela y guerrera valiente, a mis hermanos, por rodearme con su cariño y animo en cada momento del camino. A mi esposa, mi amiga y compañía de la vida, que me ha apoyado en este sueño. A mis hijos, Camilo y Elizabeth que son mi aliciente, a todos los amo
entrañablemente

Carlos Eduardo Aristizábal Echeverri

Tabla de Contenido

Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
1. Planteamiento del problema	16
1.1 Antecedentes	16
Referencias Internacionales	16
Referencias regionales	16
Referencias Locales	17
2. Justificación.....	18
3. Objetivos	19
4. Marco teórico	20
Patología.....	22
Lesión	22
Causas de Lesiones Patológicas	23
Lesiones Físicas	23
Lesiones Mecánicas	23
Lesiones Químicas	24
Muros Estructurales.....	24
Clasificación de Otros Tipos Muros no Estructurales Elaborados con Técnicas Antiguas o Artesanales.	25
Muros de Tapia y Adobe.....	25
Muros de Bahareque	25
Lesiones Mecánicas en Muros Estructurales.....	26

Fallas en Muros Estructurales	27
Falla por Flexión	28
Falla por Cortante.....	29
Fisuración del Concreto en Estado Plástico	31
Fisuración por Retracción Plástica.....	31
Precipitación del Agregado.....	31
Fisuración del Concreto Endurecido.....	32
Retracción por Secado.....	32
Tensiones de Origen Térmico.....	33
Reacciones Químicas.....	33
Meteorización.....	33
Corrosión de las Armaduras.....	33
Prácticas Constructivas Inadecuadas.....	33
Tipos de Patología.....	36
Procedimiento de Inspección	36
Clasificación de Daños en la Edificación.....	37
Sistemas Estructurales.....	37
Resistente a Cargas Laterales.....	38
Inercia de la Estructura.....	38
Irregularidad en Planta.....	38
Rigidez de la Estructura.....	38
Valoración de la Cimentación.....	38
El Sistema Estructural de la Edificación.....	38
Materiales de la Edificación.....	38

Calidad de la Construcción	38
Elementos no Estructurales	38
Rutas de Colapso	39
Estados Limite	39
Estado Limite de Servicio	39
Estado Limite Ultimo	40
Inestabilidad	40
Pérdida de Equilibrio.	40
Pandeo Elástico	40
Fatiga	40
Rotura	40
Colapso Progresivo.	41
Formación de Mecanismo Plástico.	41
Mecanismos de Colapso	41
Manifestaciones Patológicas	42
Principales Modos de Falla de los Elementos no Estructurales	43
Desplome.	43
Volcamiento	44
Deslizamiento.	44
Recopilación de Información.	46
Analizar el Sector	47
Evaluar los Aspectos Preexistentes de la Edificación Desde el Exterior.	49
Evaluar Elementos Estructurales	50
Valorar los Elementos Estructurales, su Localización, Grado de Deterioro, la Cantidad de Elementos Afectados y las Áreas que Comprenden los Elementos Fisurados.	51

Evaluar Elementos no Estructurales.....	51
Muro 1.....	51
Muro 2.....	53
Muro 3.....	53
Clasificar el Grado de Afectación del Bien Inmueble.....	54
Brindar Capacitación a los Directamente Interesados en la Situación.....	54
Proceder con las Comunicaciones a las Autoridades	54
Conclusiones	55
Referencias	56
Anexo 1.	58
Anexo 2.	60
Patologías en Concreto y Mampostería Estructural	60
Corrosión Galvánica.	60
Ciclos de Humedad, Reacción Álcali-Sílice, Ataque de Sulfatos.....	60
Cambios de Volumen por Variaciones de Humedad y de Temperatura.....	62
Manifestaciones de Acciones Físico-Mecánicas.....	64
Asentamiento Relativo Entre Apoyos.	66
Fisuras por Diferencia de Acortamiento	67
Deformaciones Bajo Carga Estática.....	68
Deformaciones Bajo Carga Sísmica.....	70
Columnas.....	72
Nudos Daños por Cortante Debido a Falta de Refuerzo Transversal.	73
Catálogo de Patologías en muros no Estructurales en Mampostería	79
Deslizamiento de Junta	79

Muro de Mampostería no Reforzada.....82

Lista de tablas

Tabla 1. Análisis de cargas sobre muros según su tipo y efecto	27
Tabla 2. Comparativa entre fisuras y grietas	30
Tabla 3. Comparación de contenido de bibliografía revisada en cuanto al tema de fisuras.	44
Tabla 4. Clasificación de daños y habitabilidad en la edificación	58
Tabla 5. Fisuras por corrosión	60
Tabla 6. Ataque de sulfatos.	61
Tabla 7. Fisuración por contracción y retracción	63
Tabla 8. Manifestaciones de acciones físico-mecánicas	65
Tabla 9. Fisuración por asiento de columna.....	66
Tabla 10. Fisuras por diferencia de acortamiento (entre columnas y núcleo de un edificio alto).67	
Tabla 11. Fisuras por diferencia de acortamiento (entre columnas de fachada situadas en el exterior y núcleo interior de un edificio alto).....	68
Tabla 12. Fisuración por deformaciones bajo carga estática.....	68
Tabla 13. Vigas daños por flexión – Fisura vertical.....	70
Tabla 14. Vigas daños por flexión – Fisuras inclinadas.....	71
Tabla 15. Columnas defectos locales o falta de refuerzo transversal.....	72
Tabla 16. Fisuras en el centro del tramo de columna.	72
Tabla 17. Vigas y columnas daños cerca de los nudos.	73
Tabla 18. Nudos daños por cortante debido a falta de refuerzo transversal.....	73
Tabla 19. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión dúctil (1AC).	74
Tabla 20. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con tracción diagonal (1BC)75	
Tabla 21. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con aplastamiento del alma (1CC).....	76

Tabla 22. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con aplastamiento del alma (1CD).....	77
Tabla 23. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con compresión de borde (1EC).....	77
Tabla 24. Muro aislado o pila débil - Comportamiento de flexión dúctil (2AC).....	78
Tabla 25. Muro aislado o pila débil - Comportamiento de incipiente tracción diagonal (2BC)...	79
Tabla 26. Deslizamiento de Junta.....	79
Tabla 27. Fisura por flexión o por aplastamiento del borde inferior.....	81
Tabla 28. Muro solido - Comportamiento por flexión fuera del plano.	82
Tabla 29. Muro diafragma - Comportamiento de aplastamiento de esquina.	83
Tabla 30. Muro diafragma - Deslizamiento de juntas.	84
Tabla 31. Muro diafragma - Tracción diagonal.	85
Tabla 32. Muro diafragma - Aplastamiento de esquinas y fisuración diagonal.....	86
Tabla 33. Muro diafragma - Comportamiento fuera del plano.	86

Tabla de figuras

Figura 1. Fisura en fachada	22
Figura 2. Física – Se destaca la humedad	23
Figura 3. Física – Suciedad (por pintura).....	23
Figura 4. Física – Erosión por Cavitación.....	23
Figura 5. Mecánicas – Fisuras.....	24
Figura 6. Mecánicas – Grietas.....	24
Figura 7. Mecánicas – Desprendimiento.....	24
Figura 8. Químicas - Eflorescencia	24
Figura 9. Químicas - Oxidación	24
Figura 10. Mecánicas – Desprendimiento.....	24
Figura 11. Adobe.....	25
Figura 12. Tapia	25
Figura 13. Muros en Bahareque	26
Figura 14. (A) Grieta y (B) Fisura	26
Figura 15. Posibles modos de falla de muros estructurales	28
Figura 16. Falla por flexión - Edificio muros edificio Toledo Villa del Mar (Chile 2010).....	29
Figura 17. Falla por corte - Edificio en Viña del Mar.....	29
Figura 18. Típica fisuración por Retracción Plástica	31
Figura 19. Fisura formada debido a precipitación o descenso del agregado	32
Figura 20. Patrón típico de fisuras producida por retracción por secado.....	33
Figura 21. Fisuras por asentamiento diferencial.	35
Figura 22. Efectos de aberturas en fisuración.	35

Figura 23. Plano arquitectónico (línea morada punteada hace parte de la estructura metálica y línea azul continua hace a pórticos en concreto reforzado de tres niveles).....	46
Figura 24. Análisis del sector.....	48
Figura 25. Fachada exterior lateral izquierda.....	49
Figura 26. Fisuración en muro colindante a muro 1	49
Figura 27. Panorámica de muro colegio colindante.....	50
Figura 28. Asentamiento de muro colegio colindante.	50
Figura 29. Fisuración y agrietamiento en muro 1	51
Figura 30. Desvío de fisura en muro 1.....	52
Figura 31. Fisuración en muro 1.	52
Figura 32. Grieta y descascaramiento en muro 1.....	52
Figura 33. Descascaramiento en muro 1.....	52
Figura 34. Fisuración en muro 2.....	53
Figura 35. Fisuración en muro 3.....	54
Figura 36. Control de fisuración en muro 3	54
Figura 37. (A) Ataque de ácidos y (B) Relación Alkali - Agregados.....	61
Figura 38. Temperaturas desiguales.....	62

Resumen

Esta monografía ofrece una revisión de literatura detallada sobre el comportamiento y la interpretación de fisuras en estructuras de concreto, en la que se analiza las principales causas de las fisuras encontradas en textos que tratan la temática llegando el punto, como lo proponen algunos de ellos, de plantear una metodología de inspección con fundamento en este conocimiento.

Como muestra de la utilidad de la revisión bibliográfica se trae a colocación un ejemplo de la vida real ubicado en la ciudad de Medellín, con lo que se destaca importancia de las inspecciones patológicas en las edificaciones tendientes a determinar el comportamiento e interpretación de fisura encontradas en los documentos consultados, dando indicios de las causas asociadas a la problemática y sirviendo de guía inicial para el profesional en materia de patología y evaluación de la edificación.

La recopilación bibliográfica contribuye al profesional brindando un conocimiento que a su vez se transforma en una herramienta útil durante la revisión de casos de fisuración.

Abstract

This monograph provides a comprehensive literature review on the behavior and interpretation of cracks in concrete structures, analyzing the main causes of cracks found in relevant texts and proposing an inspection methodology based on this knowledge.

To illustrate the usefulness of the bibliographic review, a real-life example from Medellín city is presented, highlighting the importance of pathological inspections in buildings to determine the behavior and interpretation of cracks found in the consulted documents. This provides clues about the causes associated with the problem and serves as an initial guide for professionals in building pathology and evaluation.

The bibliographic compilation contributes to the professional's knowledge, transforming it into a useful tool during crack assessment cases

Introducción

La presencia de fisuras en estructuras de concreto es un fenómeno común que puede indicar una serie de problemas de diversa índole, desde simples problemas estéticos hasta graves deficiencias estructurales. La comprensión del comportamiento e interpretación de estas fisuras es crucial para la evaluación, valoración del fenómeno y el mantenimiento adecuado de las edificaciones, garantizando su seguridad y durabilidad.

En este documento, mediante una revisión bibliográfica, se abordará el tema del comportamiento e interpretación de fisuras en estructuras de concreto, si bien estas no surgen por casualidad, son manifestaciones visibles de procesos subyacentes que afectan la integridad del material, entre las causas más comunes se encuentra: retracción, sobre cargas, errores tanto de diseño como de construcción, cambios de temperatura, corrosión en el acero y asentamientos diferenciales. Cada una posee características únicas que pueden revelar información crucial sobre su origen y la gravedad del problema, para determinar una adecuada interpretación es necesario tener en cuenta: ubicación, forma, tamaño, patrón de aparición, color y textura y otra relacionadas con la edificación como tipo de estructura, uso y configuración tanto en planta como en altura.

Es importante, responder preguntas tales como: ¿Cuáles son las principales causas de las fisuras en las estructuras de concreto?, ¿Cómo es la clasificación de las fisuras?, ¿Existe algún método para la evaluación de comportamiento e interpretación de fisuras?

1. Planteamiento del problema

1.1 Antecedentes

Las fisuras y grietas son un tema de preocupación en las edificaciones, tanto para sus propietarios como para sus habitantes, estas en el medio son de aparición generalizada, surgiendo inquietudes y preguntas tales como: ¿Son graves los problemas asociados a las fisuras?, ¿Estas implican que la estructura colapse?, ¿Es necesario tomar alguna medida inmediata?; de tal forma que se convierte esta situación en un desafío para el profesional que la investiga, de allí la importancia de comprender el comportamiento e interpretación de fisuras en concreto reforzado.

A tal efecto se consultaron diferentes tesis en repositorios de diversas universidades, artículos, referencias bibliográficas y enlaces virtuales, teniendo en cuenta que fueran fuentes confiables en cuanto al tema de investigación.

Referencias Internacionales

A nivel internacional se encontró un trabajo realizado por Newman, en el año 2021, en donde los autores desarrollaron un estudio de métodos de reparación de grietas en muros, las cuales pueden ser causadas por humedades o movimientos de suelo junto con la falta de juntas, estas reparaciones deben ir de la mano con la reparación de juntas de muros y reducción de movimientos de muros (Newman, 2021).

Referencias regionales

A nivel regional el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, en el año 2011, realizó una guía de patología, en donde incluyen un estudio de la falla en los muros estructurales y no estructurales, por flexión o por corte.

La interacción entre las características del terreno y las acciones sísmicas juega un papel crucial en la vulnerabilidad de las edificaciones. Los factores internos de una zona, como el tipo de suelo, su composición y su topografía, determinan la respuesta del terreno ante los movimientos sísmicos, lo que a su vez puede generar daños estructurales. Para comprender mejor esta relación,

es necesario analizar los daños potenciales no solo desde la perspectiva de sus causas, sino también en términos de su naturaleza y severidad.

Se presenta una inclusión de materiales como la tapia, adobe, bahareque, entre otros, realizando así una investigación de la vulnerabilidad de este tipo de edificaciones (Farbiarz et al., 2011).

Referencias Locales

En el año 2022 Mauricio Restrepo y Yenny Cano, realizaron una tesis enfocada en los estudios de patología que presentan los diferentes tipos de muros, sus orígenes y las fuerzas externas que actúan sobre ellos. En sus conclusiones, los autores destacan la necesidad de implementar estrategias preventivas y correctivas para la gestión del riesgo en los muros de las edificaciones. En la etapa de diseño y construcción, se recomienda optar por medidas que reduzcan la probabilidad de aparición de fisuras en los muros. Las lesiones más relevantes son las originadas por solicitaciones que superan la capacidad resistente de los elementos, sean estos de naturaleza estructural o no estructural. Estas fallas, que pueden tener consecuencias catastróficas, son especialmente preocupantes cuando se presentan en zonas fuera del plano del muro, donde la resistencia es menor y la ruptura suele ser frágil y repentina. Por lo tanto, resulta fundamental prestar especial atención y buscar soluciones en el diseño general de la estructura para prevenir esfuerzos excesivos que conduzcan a fisuraciones excesivas, aplastamientos y desprendimientos del material (Restrepo & Cano, 2022).

Puede apreciarse que el desarrollo del conocimiento en esta área se enfoca al establecimiento de las causas de las fisuras, tanto las relacionadas con la producidas durante el proceso inicial de fraguado del concreto, como a aquellas relacionadas o que se pueden presentar durante el funcionamiento de la estructura tanto bajo cargas sísmicas como bajo cargas permanentes.

En general se aprecia que hay una cantidad de autores enfocados en la elaboración de manuales, de tal manera que, una vez interpretadas la fisura, verificado su comportamiento, puedan tomarse medidas para la mitigación de esta mediante su adecuado tratamiento con el fin de mantener la estructura en condiciones de funcionamiento con rangos de seguridad satisfactorios, con un paso a paso que es guía y que concuerda con el propósito de la presente monografía.

2. Justificación

Las fisuras en las estructuras de concreto son una señal de alerta asociada a problemas estructurales. Estas patologías son comunes tanto en el concreto reforzado como en los elementos no estructurales y pueden surgir por diversas causas, como se observa en la figura 2, 3 y 4, tales como: insuficiencia en la sección de los elementos, falta de mantenimiento de la edificación y de sus elementos no estructurales, asentamientos diferenciales, falta de curado, retiro prematuro de las formaletas, ocurrencia de sismos, cambios de temperatura, filtración de agua y desastres naturales. Estas fisuras pueden llevar a la pérdida de resistencia, ductilidad y durabilidad en los elementos comprometidos, y en casos críticos, pueden provocar el colapso de la edificación. Además, pueden aparecer fisuras por la acción de agentes externos ambientales, cargas permanentes y efectos sísmicos.

Dada la variedad de causas que pueden provocar fisuras en las estructuras de concreto, es crucial analizar detenidamente sus características las cuales incluyen los patrones de fisuración, la velocidad con la que evolucionan o incrementan su espesor, la profundidad de las fisuras y otros factores relevantes. Interpretar correctamente estos aspectos es esencial tanto para implementar medidas inmediatas como para planificar acciones a largo plazo desde una perspectiva patológica.

Por lo tanto, es fundamental comprender a fondo el comportamiento de las fisuras para diagnosticar con precisión sus posibles causas y diseñar soluciones efectivas para reparar el daño a tiempo, además, una evaluación adecuada de las fisuras puede ayudar a prevenir futuros problemas estructurales, ya que permite implementar estrategias de mantenimiento preventivo. Esto incluye la aplicación de técnicas de monitoreo continuo y la adopción de medidas correctivas antes de que los problemas se agraven.

En última instancia, un enfoque proactivo y bien informado en la gestión de las fisuras en el concreto puede aumentar la durabilidad y seguridad de las edificaciones, protegiendo tanto a las personas que las utilizan como la inversión realizada en su construcción y mantenimiento.

Esto nos lleva a plantearnos las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las principales causas de las fisuras en las estructuras de concreto?, ¿Cómo es la clasificación de las fisuras?, ¿Existe algún método para la evaluación de comportamiento e interpretación de fisuras?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica sobre el comportamiento e interpretación de fisuras en estructuras de concreto.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar causas y orígenes de las fisuras en diferentes estructuras de concreto.
- Realizar análisis sobre el comportamiento de las fisuras en estructuras de concreto.
- Recopilar una metodología de evaluación del comportamiento de las fisuras en estructuras de concreto.

4. Marco teórico

El rápido avance en el sector de la construcción, controlado principalmente por las estructuras de concreto reforzado en Colombia, exige cada vez más una sólida preparación técnica. Desde la fase de diseño hasta las etapas finales de construcción es esencial cumplir rigurosamente con las diversas normativas y especificaciones. Estas, combinadas con las tecnologías de punta, son fundamentales para alcanzar obras que no solo sean seguras y duraderas, sino también estéticamente agradables.

Sin embargo, estas características pueden verse comprometidas por una de las patologías más comunes en las construcciones de concreto: las grietas y fisuras. Estas imperfecciones no solo afectan la apariencia de la estructura, sino que también tienen un impacto directo en su funcionalidad. La presencia de grietas y fisuras son una de las principales causas que pueden disminuir la durabilidad de una estructura.

Establecer un diagnóstico preciso es crucial, comprendiendo desde la identificación de las grietas hasta la determinación de sus causas. Este diagnóstico permite a los diseñadores, constructores y fabricantes de materiales no solo minimizar o eliminar el impacto de estas fisuras mediante su reparación, sino también implementar medidas preventivas para evitar o reducir su aparición en el futuro. Un enfoque proactivo y detallado en la identificación y tratamiento de las fisuras puede prevenir la recurrencia de este tipo de patología y asegurar la integridad estructural a largo plazo.

La capacidad de identificar correctamente las causas subyacentes de las grietas y fisuras, de adoptar medidas preventivas y correctivas efectivas, es vital para el éxito de cualquier proyecto de construcción. Esto no solo mejora la seguridad y durabilidad de las estructuras, sino que también optimiza los recursos y reduce los costos a largo plazo. Por lo tanto, una comprensión profunda de la patología del concreto y la aplicación de tecnologías avanzadas y prácticas de ingeniería rigurosas son indispensables para lograr edificaciones que cumplan con los más altos estándares de calidad y resistencia.

Como se ha mencionado anteriormente, la aparición de fisuras en las estructuras de concreto es algo común (figura 1). Por ello, es crucial que el ingeniero estructural esté bien informado sobre este fenómeno al realizar una revisión patológica. Este conocimiento le permitirá identificar

rápidamente las causas en la mayoría de los casos y tomar las medidas necesarias en la obra, ya sea durante el proceso de construcción, antes de su inicio o después de su finalización.

Se encuentran fisuras de todo tipo, desde las que no tienen patrón hasta las que, por su forma y comportamiento, pueden interpretarse fácilmente con base en la literatura técnica. Por eso, recopilar información técnica es esencial. A menudo, las fallas reales se asemejan a las descritas en los libros, requiriendo un juicio experto por parte del profesional encargado de la evaluación.

Por lo tanto, es importante proporcionar una herramienta diagnóstica, que, aunque no sea absoluta ni completa debido a la complejidad del tema, sea de gran ayuda para el profesional en el diagnóstico y pronóstico. Es de notar que la experiencia y el juicio del profesional siguen siendo fundamentales en el ejercicio de la patología de la edificación, siendo estas irremplazables por encima de las ayudas diagnósticas que se tengan a disposición.

(Farbiarz et al., 2011) amplía aún más el ámbito de aplicación de este conocimiento, llevándolo al campo de la Gestión del Riesgo del Desastre, en particular a la de la actualización del “Escenario de Daños por Terremoto” como a la capacitación del “Grupo de Inspecciones de Edificaciones” para el caso particular de la ciudad capital de Colombia. Esta guía establece además el nivel de daño de una estructura civil ante un evento sísmico determinado y a su vez obra como herramienta para planear de forma pronta la atención para la emergencia. Lo anterior no obsta para que las ayudas con que cuenta este material puedan ser usadas con otros propósitos como lo son los de entender interpretación del comportamiento de las fisuras.

Por otra parte, (Restrepo & Cano, 2022) destacan otro aspecto importante, que en cuanto a construcciones en vivienda o residencial, los muros en mampostería sobresalen como uno de los más usados, por lo que resulta igualmente importante considerar las diferentes fisuras que este material sufre tanto cuando conforma la estructura principal de resistencia sísmica, como cuando hace parte de los elementos no estructurales, de tal forma que entenderlas puede llevar a la comprensión general de lo que padece la estructura que la contiene.



Figura 1. Fisura en fachada

Fuente. (Patologías construcción, 2021)

Como primera instancia, en este documento se abordan diferentes conceptos básicos relacionados con las fisuras en muros y su comportamiento, en este capítulo se hace una descripción de estos.

Patología

Es una disciplina crucial para garantizar la seguridad, duración y funcionalidad de las construcciones. Esta área de estudio se centra en comprender los diversos tipos de daños o deterioros que pueden experimentar los elementos, materiales y estructuras que conforman una construcción. Estos daños pueden ser de naturaleza física (humedad, suciedad, erosión), mecánica (grietas, fisuras, deformaciones) o química (oxidación, corrosión, carbonatación) (Da Vinci, 2020).

Lesión

Son daños o anomalías que afectan la capacidad de carga y la estabilidad de una estructura. Pueden ocurrir en diversos componentes de un edificio o sistema de infraestructura, incluyendo muros, vigas, columnas, losas, cimientos y conexiones. Estas lesiones pueden comprometer la integridad general y la seguridad de la estructura, lo que potencialmente conduce a un colapso parcial o completo si no se abordan.

Causas de Lesiones Patológicas

Lesiones físicas

- **Humedades**

- **Suciedad**

- **Erosión**

Lesiones Mecánicas

- Fisuras

- Grietas

- Desprendimiento

Lesiones Químicas

- Eflorescencia

- Oxidación

- Organismos

Lesiones Físicas

Son aquellas anomalías estructurales que ocurren por humedades (figura 2), Suciedad (figura 3) y erosión (figura 4); esto puede suceder por agentes físicos externos (humedad, vientos, movimientos sísmicos y cambios de temperatura), por sobrecargas (errores de diseño, construcción o uso inadecuado de la estructura) y falta de mantenimiento.



Figura 2. Física – Se destaca la humedad

Fuente. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica Presidencia De La República Red De Solidaridad Social, 2004).



Figura 3. Física – Suciedad (por pintura)

Fuente. (Structuralia Blog, 2016)



Figura 4. Física – Erosión por Cavitación

Fuente. (López, 2022)

Lesiones Mecánicas

Son aquellas lesiones que ocurren por fisuras (figura 5), grietas (figura 6) y desprendimiento (figura 7); esto sucede por factores de sobrecargas (supera la capacidad de carga máxima a la que fue diseñada), impactos (golpes o choques contra la estructura, los cuales generan fisuras o roturas), asentamientos diferenciales, falla en materiales y falta de mantenimiento. Este tipo de fallas se pueden encontrar en elementos estructurales (losas, placas, vigas y columnas) y elementos no estructurales, el exceso de agua en la mezcla, la falta de curado del concreto, mala ubicación de los

aceros de refuerzo y un sismo, son algunas de las causas más comunes para provocar la fisuración, este suceso compromete la rigidez, servicio y durabilidad de las estructuras (Sotomayor, 2020).



Figura 5. Mecánicas – Fisuras
Fuente. (S.A.T / Paredes Exteriores, 2016)



Figura 6. Mecánicas – Grietas
Fuente. (Bigstock, 2020)



Figura 7. Mecánicas – Desprendimiento
Fuente. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica Presidencia De La República Red De Solidaridad Social, 2004)

Lesiones Químicas

Este tipo de lesiones estructurales ocurren por eflorescencia (figura 8), oxidación (figura 9) y desprendimiento (figura 10); esto puede suceder por daños o deterioros que afectan la composición química y propiedades de los materiales que conforman una edificación.



Figura 8. Químicas - Eflorescencia
Fuente. (Monto Pinturas, 2017)



Figura 9. Químicas - Oxidación
Fuente. (Hume Ingeniería, 2015)



Figura 10. Mecánicas – Desprendimiento
Fuente. (Gonzales, n.d.)

Muros Estructurales

Son aquellos elementos que forman parte de la estructura principal de una edificación y cumplen la función de soportar cargas, tanto verticales como horizontales, para garantizar la estabilidad y resistencia de la estructura. Pueden ser en Mampostería o en concreto reforzado.

Clasificación de Otros Tipos Muros no Estructurales Elaborados con Técnicas Antiguas o Artesanales.

Muros de Tapia y Adobe

Estas construcciones, en la mayoría de los casos, presentan un comportamiento deficiente frente a las fuerzas de los sismos, colapsando repentinamente incluso ante eventos moderados. Este tipo de colapsos ha generado un número significativo de pérdidas de vidas humanas, así como importantes daños económicos, culturales y patrimoniales.

Los adobes (figura 11) se elaboran con barro humedecido hasta alcanzar la plasticidad en moldes de maderas y la tapia (figura 12) se trata de la compactación de tierra en capas por medio de formaletas (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica Presidencia De La República Red De Solidaridad Social, 2004).



Figura 11. Adobe

Fuente. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica Presidencia De La República Red De Solidaridad Social, 2004)



Figura 12. Tapia

Fuente. (Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica Presidencia De La República Red De Solidaridad Social, 2004)

Muros de Bahareque

Los muros en bahareque (figura 13) como elementos básicos individuales en general presentan una vulnerabilidad sísmica alta, está es asociada al tipo de edificación con carencia de anclajes o conexiones estructuralmente eficaces de los muros entre sí (Farbiarz et al., 2011).



Figura 13. Muros en Bahareque

Fuente. (Farbiarz et al., 2011).

Lesiones Mecánicas en Muros Estructurales

Las principales lesiones mecánicas en muros, tanto de carga como no portantes, se manifiestan y desarrollan principalmente a través de la aparición de grietas y fisuras (figura 14A y 14B). Este fenómeno, permite identificar y diagnosticar con exactitud de qué mal padece la estructura.

Una fisura es un síntoma de agotamiento del material constructivo causando afectaciones superficiales en una edificación a diferencia de una grieta que puede llegar a ser más profunda.

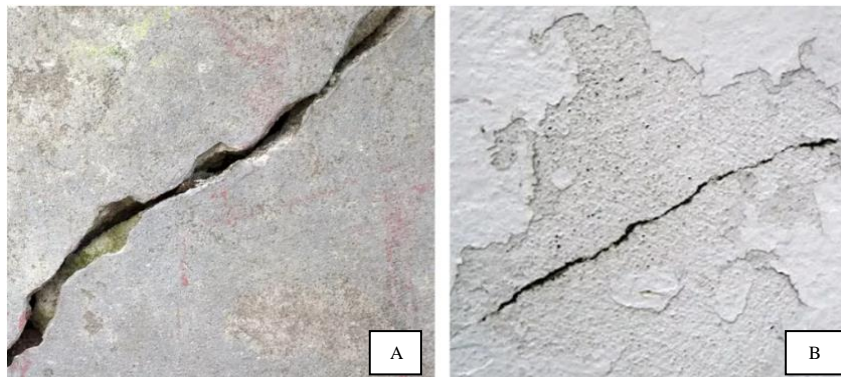


Figura 14. (A) Grieta y (B) Fisura

Fuente. (Paqsa, 2022)

Normalmente, si una fisura inicia en la parte inferior de la pared y se inclina hacia la parte superior se trata de una fisura a flexión, pero las lesiones por cortante se producen en su fibra neutra y se propaga hacia los bordes.

Una vez se ha iniciado la detección de lesiones, es necesario determinar su tipo y su importancia, al igual que localizar su causante. En la Tabla 1 se describe el tipo de carga, origen y su influencia en los muros (Broto, 2005).

Tabla 1. Análisis de cargas sobre muros según su tipo y efecto

TIPO DE CARGA	ORIGEN	CÓMO INFLUYEN
VERTICALES	Peso propio	Se añade a las cargas permanentes.
	Sobrecargas	Las sobrecargas imprevistas o superiores a las previstas en proyecto.
	Asentamientos diferenciales	Descenso de nivel de una parte de la obra, como consecuencia de la compresión de los materiales utilizados o de la estabilización del terreno donde apoyan.
HORIZONTALES	Vientos Sismos Explosiones Choques Empujes de tierras	Pueden ocasionar importantes daños en muros de fachada, ya sean estructurales o de cerramiento, y en tabiques internos. En edificios de muros sin misión estructural, son los de fachada los que recogen las cargas horizontales para trasladarlas a través de forjados y pilares hasta la cimentación.
DEBIDAS A MOVIMIENTOS PROPIOS	Dilataciones y retracciones térmicas	Generan fisuras y grietas al impedir la dilatación y contracción del elemento
	Movimientos plásticos	Incompatibilidad de deformaciones entre elementos rígidos y elásticos

Fuente. (Broto, 2005)

Fallas en Muros Estructurales

Los muros pueden fallar por flexión, por corte o carga axial, dependiendo del tipo de falla, como se observa en la figura 15. Aunque el diseño de los muros estructurales esté bien elaborado, con un refuerzo adecuado y otras características específicas, es posible que fallen antes de alcanzar

su capacidad máxima de flexión o corte. Las causas de este tipo de fallos pueden ser por deslizamiento en la base, pandeo y falla de la cimentación.

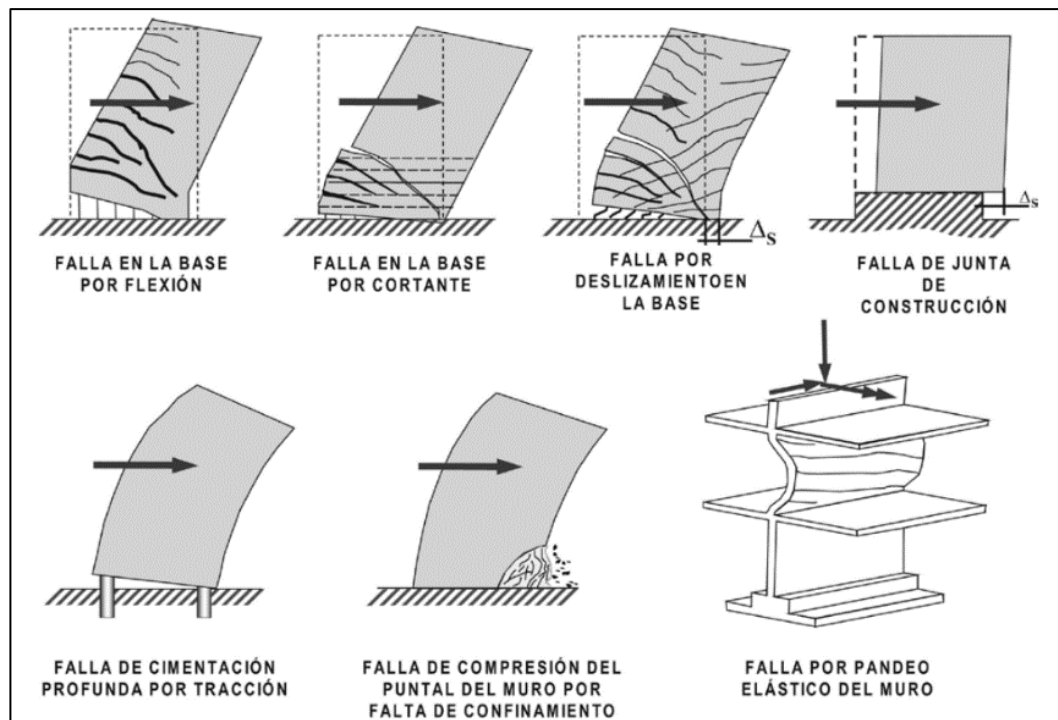


Figura 15. Posibles modos de falla de muros estructurales

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Falla por Flexión

La capacidad máxima de deformación de un muro inicia en la base de este y asciende hasta una altura específica, al alcanzar este punto crítico, se genera el mecanismo de colapso y sin deformarse gira como un cuerpo rígido alrededor de la zona plastificada (figura 16).



Figura 16. Falla por flexión - Edificio muros edificio Toledo Villa del Mar (Chile 2010)

Fuente. (San Bartolomé et al., 2010)

Falla por Cortante

La falla por cortante (figura 17) se produce por una insuficiencia en el refuerzo de corte, el cual es responsable de soportar las tensiones transversales en la estructura, este tipo de falla se ve favorecida por la presencia de juntas de construcción mal ejecutadas, que generan zonas de debilidad al interrumpir la continuidad del concreto y del armado (Farbiarz et al., 2011).



Figura 17. Falla por corte - Edificio en Viña del Mar

Fuente. (San Bartolomé et al., 2011)

Nota: Falla con trituration de los extremos y pandeo del refuerzo vertical no confinado.

La detección temprana y correcta interpretación de las grietas son sumamente importantes para evaluar la salud estructural de un edificio de concreto. Es importante tener en cuenta el tamaño, ubicación y origen, ya que pueden ser indicativas de problemas menores que pueden ser reparados fácilmente o solucionar problemas graves que requieren urgentemente una interventoría patológica más compleja. En la tabla 2 se muestran las diferencias entre fisuras y grietas de acuerdo con cada uno de los aspectos allí planteados, en términos generales un elemento que presenta grietas denota una afectación importante, requiriendo de medidas igualmente importantes.

Tabla 2. Comparativa entre fisuras y grietas

Aspecto	Fisuras	Grietas
Definición	Pequeñas aperturas en la superficie del concreto, generalmente finas y superficiales	Aperturas más grandes y profundas en el concreto, que pueden comprometer la integridad estructural.
Causas	Contracción del concreto, cambios de temperatura, curado insuficiente, asentamientos menores	Movimientos estructurales significativos, cargas excesivas, sismos, asentamientos mayores, errores de diseño
Tamaño	Generalmente menos de 0.3 mm de ancho.	Más de 0.3 mm de ancho y pueden ser significativamente más anchas y profundas
Profundidad	Superficiales, afectando principalmente la capa exterior del concreto.	Pueden atravesar el elemento estructural completo, llegando a la armadura de refuerzo.
Impacto	Estético y potencialmente afecta la durabilidad a largo plazo si no se tratan.	Comprometen la resistencia, estabilidad y seguridad estructural, requiriendo atención inmediata.
Reparación	Sellado superficial, mantenimiento regular, mejora en el curado y protección contra cambios de temperatura	Reparación estructural, relleno de grietas, refuerzo adicional, evaluación y diseño de soluciones correctivas
Diagnóstico	Observación visual, medición de ancho y patrón, generalmente menos preocupantes	Evaluación técnica detallada, monitoreo continuo, análisis estructural, requiere intervención de especialistas.

Fuente. Autores

Si bien se ha enumerado algunas de las causas de las fisuras anteriormente descritas, y que al respecto hay muchas clasificaciones, es interesante la planteada por (García, 2019) a saber:

Fisuración del Concreto en Estado Plástico

Fisuración por Retracción Plástica. Se caracteriza por la pérdida muy rápida de humedad en el concreto que obedece a combinación de factores tales como: Temperatura del aire y del concreto, humedad relativa, velocidad del viento en la superficie del concreto, etc.

Si la humedad superficial del concreto se evapora más rápido que la que puede ser suministrada desde el interior de la masa de concreto (de exudación), el concreto en la superficie sufre contracción. Al perder humedad la capa superficial del concreto produce tensiones en el concreto que genera fisuras. Estas fisuras se caracterizan por ser de poca profundidad con distribución aleatoria de longitud igualmente aleatoria que puede variar desde los milímetros hasta metros, tres (3m) o más. Ver figura 18.

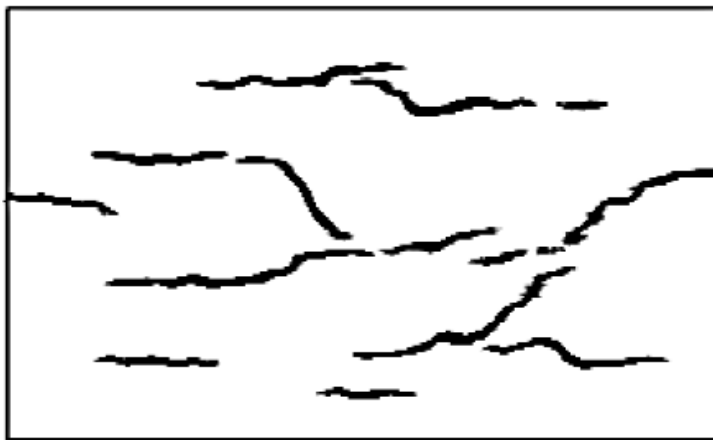


Figura 18. Típica fisuración por Retracción Plástica

Fuente.(García, 2019)

Precipitación del Agregado. Este tipo de fisura se puede presentar debido a una deficiencia en el vibrado de la mezcla al momento del vaciado, que deja vacíos en el concreto, lo que puede verse incrementado ante diámetros de acero de refuerzo grandes, otra causa está asociada a formaletas débiles, produciendo el descenso del material grueso granular momento en el cual se forma la fisura. Ver figura 19.

Se produce cuando el concreto sufre un asentamiento en su estado plástico, este asentamiento se presenta después del asentamiento inicial del vibrado y vaciado de la mezcla, la precipitación del agregado es estorbada por la formaleta, por el acero de refuerzo o por vacíos previos por mala vibración de la mezcla como se mencionó previamente.

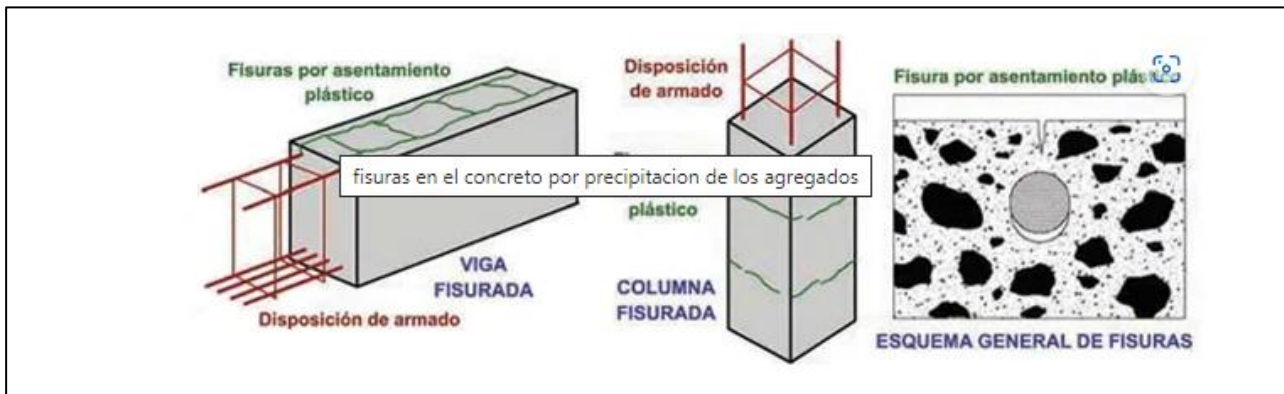


Figura 19. Fisura formada debido a precipitación o descenso del agregado

Fuente. (Condori, 2022)

Fisuración del Concreto Endurecido.

Retracción por Secado. La pérdida de humedad en la pasta conformado por cemento y agua dentro de la mezcla produce un cambio volumétrico de hasta un 1%, siendo restringido en el campo real hasta un 0.06% por la presencia del acero de refuerzo y los agregados de la mezcla, la retracción por secado depende tanto de la magnitud de agregados en cuanto a la cantidad, del tipo de agregado y de la cantidad de agua.

Se presenta fisuración irregular cuando la cantidad de agua en la superficie de la mezcla es superior a la del interior. Las causas de estas fisuras son: excesiva cantidad de agua en la mezcla, mal proceso de curado, excesiva manipulación externa de la mezcla con el fin de dar acabado, uso inapropiado del vibrador de tal forma que produzca segregación en la mezcla, espolvorear la superficie del elemento vaciado con cemento para eliminar exudación de la mezcla, carbonatación de la superficie, estas fisuras se desarrollan a temprana edad. Ver figura 20.

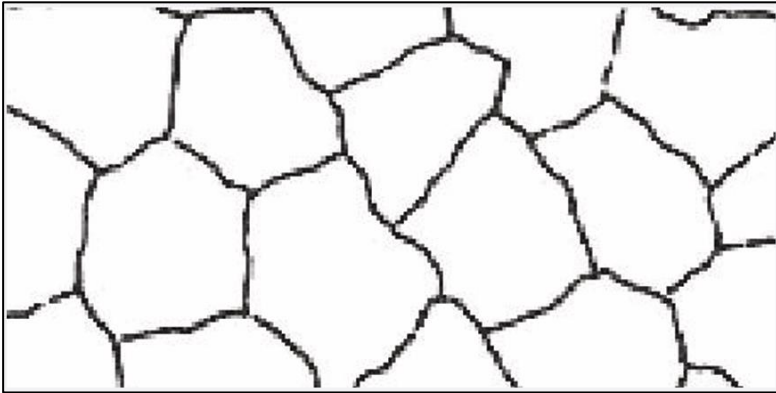


Figura 20. Patrón típico de fisuras producida por retracción por secado.

Fuente. (Euclid Group Toxement, n.d.)

Tensiones de Origen Térmico. Se produce por cambios de volumen producidos por diferencias de temperatura dentro de la masa del concreto reforzado. Estas fisuras suelen ser delgadas no muy visibles a simple vista.

Reacciones Químicas. Estas pueden producirse por reacción química entre los materiales que constituyen el concreto o por materiales en contacto con la estructura de concreto.

La presencia de sílice en los agregados y álcalis derivada de la hidratación del cemento puede producir reacciones químicas que se caracterizan por su carácter expansivo, produciendo a su vez expansiones locales que producen tensiones de tracción conllevando a la formación de fisuras del elemento estructural pudiendo llegar hasta la destrucción total del elemento.

Meteorización. Factores como la congelación, descongelación, humedecimiento, secado, calentamiento y enfriamiento. La fisuración se produce por la migración del agua hacia las zonas de congelamiento y a la presión hidráulica que producen los cristales de hielo.

Corrosión de las Armaduras. La corrosión de la armadura en un elemento de hormigón armado se da ante la presencia de agentes que posibiliten la oxidación tales como el agua o humedad. Puede existir corrosión en el acero si la alcalinidad del concreto reforzado es disminuida por carbonatación.

Prácticas Constructivas Inadecuadas. Tales como: Agregar agua a la mezcla para darle manejabilidad, esto aumenta la retracción por secado. Tampoco es viable en este caso agregar cemento a la mezcla pues habrá un mayor volumen de pasta agua cemento ya que por la diferencia de volumen entre esta y los agregados se producirá retracción de todas maneras.

Falta de curado, terminar el curado antes de tiempo, apoyos inadecuados para el encofrado o inapropiado encofrado, vibrado inapropiado del concreto, colocar juntas de retracción en zonas inapropiadas, retiro de encofrado anticipado.

Sobrecargas Durante la Construcción. Este tipo de factor es común en las obras, se produce por almacenamiento excesivo de materiales en las losas recientemente vaciadas a edad temprana o con peso que supera las cargas de diseño. Se produce también, en elementos prefabricados al izarlos de manera inadecuada y arbitraria, otra causa que puede inducir cargas adicionales y con ellos fisuración a este tipo de elementos es el mal apoyo de los prefabricados durante el tiempo de almacenamiento.

Errores de Diseño y Detallado. En el medio ya se han tenido experiencias en este tipo de situaciones las cuales han llevado al colapso de edificaciones.

Cargas Aplicadas Externamente. En algunas ocasiones pueden producirse cargas que no fueron consideradas en el diseño y que se presentan aleatoria e inesperadamente en la edificación o elemento estructural tales como inundación o empozamiento de agua en una losa de cubierta, presencia inesperada de nieve sobre cubiertas en zonas donde no se espera la ocurrencia de ese fenómeno.

Es pertinente en este punto igualmente mencionar que existen cargas que efectivamente si se consideran en el diseño, y este contempla justamente la fisuración del elemento estructural, como es el caso de las cargas sísmicas, cuya manera de disipar energía es mediante el fenómeno de fisuración y agrietamiento.

En la revisión bibliográfica se encuentran documentos de alcance técnico interesante a saber:

(Restrepo & Cano, 2022) Desarrollan un inventario amplio de fisuras en muros de mampostería estructural y no estructural, siendo importante para el contenido del presente por el hecho que en la mayoría de las edificaciones aperticados o con sistemas combinados de resistencia sísmica utilizados en Colombia, contienen adobe como elemento constitutivo de los muros interiores y de cierre en las estructuras. Normalmente, es en los muros de mampostería donde se presentan las fisuras, dado la mayor fragilidad de estos, que pueden indicar afectaciones en el sistema principal de resistencia sísmica por lo que se considera importante identificarlas siendo algunas de ellas las siguientes (Figura 21 y 22).

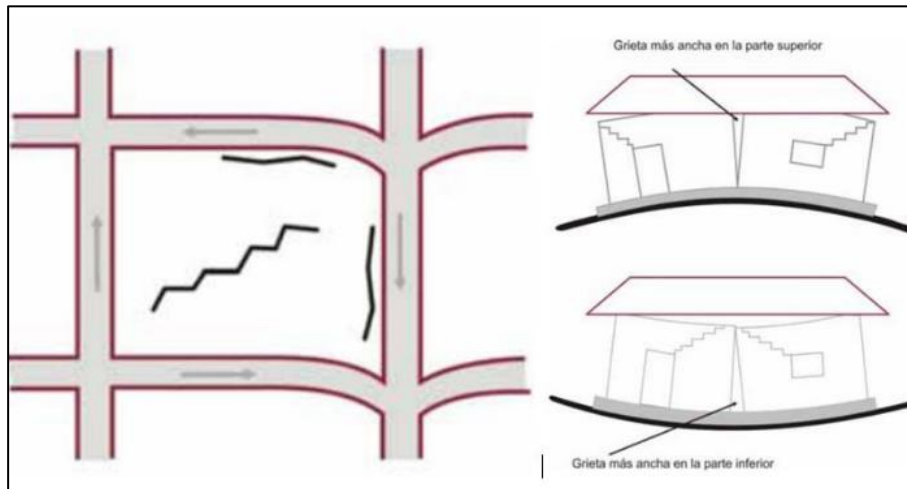


Figura 21. Fisuras por asentamiento diferencial.

Fuente. (Restrepo & Cano, 2022).

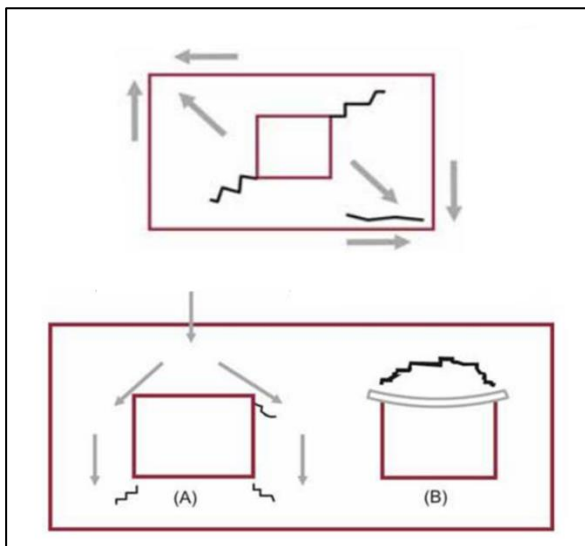


Figura 22. Efectos de aberturas en fisuración.

Fuente. (Restrepo & Cano, 2022)

Cabe resaltar que las fisuras y las grietas en estructuras de concreto son fenómenos inevitables, aunque pueden parecer superficiales, es necesario resaltar el libro de Farbiarz en donde se explora las causas, características y trascendencias de las fisuras en sus aspectos teórico-prácticos a saber:

Tipos de Patología

1. Las debidas a sismos.
2. Las debidas a cargas estáticas.
3. Las debidas a exposición ambiental.

Como primer paso al acercamiento de un problema patológico se adelanta el procedimiento denominado inspección, que consiste en evaluar las condiciones de afectación de una edificación clasificando su riesgo o amenaza, el cual puede llevar a la toma inicial de decisiones.

Procedimiento de Inspección

1. Además de analizar el sector en el que se encuentra localizada la edificación de manera general para establecer si las afectaciones se presentan en otras edificaciones o que causas zonales o puntuales pueden estar asociadas a la problemática, se debe observar también el suelo de la edificación, determinando la presencia de grietas, hundimientos, deslizamientos que pueden asociarse al problema que se está presentando.

2. Evaluar los aspectos preexistentes más relevantes de la edificación desde el exterior.

3. Observar los daños de la edificación y sus edificaciones vecinas, el estado de balcones, puntos fijos, muros, fachada y sus elementos, definiendo a su vez si las vías aledañas son o no seguras advirtiendo cuales pueden ser las rutas de evacuación en caso de ser requiera.

4. Evaluar elementos estructurales, escaleras, cielos falsos y demás con el fin de valorar su estado, contemplando la posibilidad de adelantar la inspección desde el interior de la edificación.

5. En caso de poder acceder en forma segura a la edificación, valorar los elementos estructurales, su localización, grado de deterioro, la cantidad de elementos afectados y las áreas que comprenden los elementos fisurados, diligenciar formato para ello.

6. Proceder con la evaluación de los elementos no estructurales, su grado de afectación y la zona o zonas donde se vieron más afectados.

7. Clasificar el grado de afectación del bien inmueble. Colocar avisos según la clasificación de tal forma que sirvan de advertencia a la ciudadanía, órganos de socorro, seguridad, equipos profesionales encargados de la gestión subsiguiente, etc.

8. Brindar capacitación a los directamente interesados en la situación, pueden ser usuarios, habitantes o propietarios de la edificación afectada, autoridades y en general interesados en el tema. Se debe proteger las zonas con la señalización adecuada que indique el peligro de forma clara, a tal efecto acoger las normas que existan al respecto.

9. Se debe proceder con las comunicaciones a las autoridades, si es el caso, con el fin que estén debidamente informadas y acometan las acciones que les correspondan.

Clasificación de Daños en la Edificación

Tomando como modelo los formatos de la Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones Después del Sismo, publicada por el Fondo de Prevención y Atención de emergencias el evaluador debe diligenciarlos, estos instrumentos evitan que exista subjetividad en la evaluación por parte del profesional.

El parámetro fundamental en este caso corresponde la clasificación de la habitabilidad de la edificación, es decir, establecer si puede o no funcionar o continuar dando el uso que tenía antes del evento ocurrido. La clasificación se adelanta en términos de la severidad y extensión de los elementos que conforman el sistema principal de resistencia sísmica, tanto para las cargas verticales como para las horizontales, así como para los restantes elementos que conforman la edificación y que no hacen parte del mencionado, a su vez esta clasificación se asocia con una evaluación de permitir o no la habitación del inmueble denominado grado de habitabilidad (Anexo 1).

Se obtienen finalmente dos productos: Formulario de inspección y aviso de clasificación de la edificación.

Sistemas Estructurales

Únicamente se describen a efectos de dar claridad al formato que debe diligenciarse: Pórticos en concreto, Muros, Sistemas dual o combinado, Prefabricado, Mampostería confinada, Mampostería reforzada, Mampostería no reforzada no confinada, Pórticos resistentes a momentos (Metálica), Pórticos arriostrados, Sistemas en madera, entre otros.

A su vez la estructura debe calificarse de acuerdo con los siguientes criterios:

Resistente a Cargas Laterales. Desde el punto de vista cualitativo; es resistente a cargas laterales si la estructura obedece a las edificaciones o infraestructuras legalmente construidas.

Inercia de la Estructura. Se evalúa debido a que las fuerzas sísmicas son fuerzas inerciales que dependen de la masa de la edificación y su distribución en altura dentro ella. Se trata de establecer si la estructura o alguna parte de ella es liviana o no.

Irregularidad en Planta. (Según NSR-10.)

Rigidez de la Estructura. Mediante comparativo de pórticos en concreto vs muros vs estructuras metálicas o de madera. Igual es una cualificación cualitativa ya que es fruto de la observación en campo. (Aplica para los numerales aquí presentes)

Valoración de la Cimentación. Si es o no compatible con el suelo. Suelos firmes cimentaciones superficiales, suelos blandos, profundas.

El Sistema Estructural de la Edificación. Es importante que el sistema estructural tenga investigaciones que lo respalden, sobre todo con experimentación. Todo sistema estructural debe cumplir requisitos tales como continuidad vertical de los elementos de soporte y ortogonalidad de los elementos estructurales tanto vertical como horizontal.

Materiales de la Edificación. Establecer si son o no los adecuados bajo la norma.

Calidad de la Construcción. Mediante la pregunta ¿La edificación indica que la calidad de la construcción es buena?

Si estas afirmaciones son positivas en cuanto a la edificación, la edificación tiene un grado de sismo resistencia adecuado. Si una o más afirmaciones no se cumplen, la edificación es vulnerable a eventos sísmicos.

Elementos no Estructurales

- Divididos en grupos a saber: Acabado, elementos arquitectónicos y decorativos, Instalaciones (hidráulicas, sanitarias, eléctricas, mecánicas y de gas), Tanques de agua.

- Los anclajes y conexiones de estas deben diseñarse para soportar las fuerzas horizontales.

- Las afectaciones que estos sufren están asociadas a su propia masa, considerando así mismo la acción o acciones que pueden recibir del resto de la edificación.

Los aspectos para considerar en este tipo de elementos son:

- Establecer si tienen una estructura clara y definida.
- Establecer si los materiales de construcción tienen capacidad de disipación de energía.
- Verificar si se encuentra conectado al sistema principal de resistencia sísmica o a algún elemento que haga parte de este.
- Evaluar si sus sistemas de anclaje tienen capacidad de disipación de energía.

Rutas de Colapso

Para que ocurra se requiere que se produzca alguna de las siguientes situaciones:

- Las cargas impuestas superan la resistencia de diseño incluido los factores de seguridad.
- Error al estimar las cargas en el momento del cálculo al diseñar.
- La resistencia real de los elementos construidos no alcanzó la de diseño.
- La edificación fue construida sin ninguna consideración en cuanto a su resistencia o en cuanto a la exigencia de capacidad de los materiales.

En una estructura al incrementarse las cargas y reducirse la resistencia de los elementos comprometidos en el fenómeno, surgen en la edificación evidencias, como lo son las fisuras y grietas que, según sus características y velocidad, indican que la estructura puede llegar al colapso, atender estas evidencias puede conllevar a prevenirlo o evitar la pérdida de vidas humanas.

Estados Limite

Se presenta cuando una estructura ha fallado según los criterios siguientes: Rigidez, resistencia, desempeño, aspecto.

Estos límites se clasifican en: estado límite de servicio, y último.

Estado Limite de Servicio

Se presente por las siguientes causas:

- Las deflexiones superan las máximas permitidas.
- Vibraciones sean o no excesivas, causan molestia a los usuarios y habitantes de la edificación.
- Presencia de grietas de gran tamaño: Los materiales que conforman la edificación presentan una parte o porción de ellos que debe fisurarse con tensiones relativamente bajas, permitiendo que otros materiales como el acero desarrollen su potencial para el cual han sido diseñados. Estas fisuras pueden ser pequeñas, sin embargo, hay estructuras o edificaciones en las que no son permitidas, como Centrales Nucleares, Presas, refugios, estructuras que contienen agua, etc.

Estado Limite Ultimo

Es el estado a partir del cual la integridad de la edificación se encuentra en peligro. Se definen de acuerdo con los siguientes tópicos:

Inestabilidad. Se presenta según las condiciones de los apoyos o por la configuración interna de la estructura.

Pérdida de Equilibrio. Se presenta por pérdida de equilibrio de la estructura completa, típicamente ante cargas sísmicas, se caracteriza por que la edificación cae completa en su totalidad, es característica de edificios esbeltos o por condiciones del suelo como licuefacción.

Pandeo Elástico. Elementos estructurales en los que prevalece una dimensión de otra, esbeltos, pueden fallar antes que el acero supere la capacidad máxima de fluencia, es una falla inmediata o súbita en el rango elástico del material.

Fatiga. Es la carga repetida del elemento o de forma cíclica o de onda, puede ocurrir incluso si la magnitud de la carga impuesta se encuentra por debajo de la carga de diseño, aun con valores de cargas pequeños, pero con una frecuencia alta.

Rotura. Se presenta cuando las cargas o esfuerzos son superados por los que las cargas impuestas producen en la edificación rebasando la capacidad de los materiales y llevando estos a la rotura. Depende de las condiciones de borde del elemento estructural comprometido y naturaleza de las tensiones. La rotura puede producir la falla en la totalidad o en parte del elemento estructural comprometido.

Colapso Progresivo. Se presenta cuando un elemento estructural falla y los adyacentes no tienen la capacidad de tomar los esfuerzos del elemento inicialmente fallado, obteniéndose entonces un efecto dominó o en cadena, que puede afectar la estructura de manera parcial o total. Se presenta por falta de hiperestaticidad y de redundancia.

Formación de Mecanismo Plástico. Los elementos estructurales son diseñados para que se presenten en las mismas articulaciones plásticas, las cuales son los mecanismos de defensa que mediante deformación y fisuración disipa la energía de cargas impuestas tales como los sismos, si el elemento no tiene la suficiente ductilidad para soportar esta exigencia se presenta su falla.

Mecanismos de Colapso

Mientras que el concreto y la mampostería comienzan a mostrar signos de debilidad y fisuración en las primeras etapas de carga, el acero estructural permanece rígido y resistente hasta que se alcanza un umbral específico de tensión. Esta característica hace que el acero sea un material preferido en aplicaciones donde la resistencia y la durabilidad son cruciales.

En el contexto de la investigación, se observa que el mecanismo de falla en **los pórticos dúctiles resistentes a momento** está relacionado con la formación de rótulas plásticas en los extremos de los elementos que convergen en los nudos resistentes al momento. Es importante destacar que, aunque una viga articulada en ambos extremos experimenta un aumento en su régimen de deformaciones, esto no necesariamente conduce a la falla del elemento individual, tampoco conduce necesariamente a la falla del sistema estructural en su totalidad. De hecho, la ruta de colapso establecida para los pórticos resistentes a momentos indica que las rótulas plásticas deben formarse primero en las vigas. Si se aplicara la articulación plástica en los extremos de las columnas de un nivel en una edificación, dicho piso podría estar en riesgo de colapso.

Las articulaciones plásticas son zonas donde la viga puede rotar sin aumento significativo de momento flector. Estas articulaciones son esenciales en el diseño estructural avanzado, ya que permiten predecir y controlar el comportamiento de la viga bajo cargas extremas. La formación de estas articulaciones es un indicador de que la viga ha alcanzado su capacidad máxima de carga y está en el umbral del colapso.

En el ámbito del diseño estructural, es común concebir los **pórticos de acero** de tal manera que su resistencia a las cargas laterales no dependa exclusivamente de las conexiones entre

columnas y vigas, sino que se logre mediante el uso de riostras ubicadas en los vanos. Este enfoque estructural se asemeja al comportamiento de un sistema de muros. De hecho, las Normas Sismo-Resistentes (NSR-10) clasifican los pórticos con riostras dentro de la categoría de sistemas de muros. En términos de mecanismo de falla, al igual que en los muros, se involucra una biela diagonal de compresión y otra de tracción en cada vano.

Cuando clasificamos un elemento vertical como **un muro**, su respuesta ante las cargas horizontales se asemeja al comportamiento de una viga en voladizo. En este caso, los momentos máximos y las fuerzas cortantes máximas se concentran en la base del muro. Como resultado, los muros pueden experimentar fallas tanto por flexión como por corte, dependiendo del modo dominante de colapso, el cual está determinado por sus proporciones geométricas. Ver figura 15.

No obstante, es crucial destacar que el diseño detallado del refuerzo y otras características específicas pueden influir en la forma en que un muro colapsa. En ciertas situaciones, el muro podría fallar debido al deslizamiento en su base o al pandeo antes de que se alcancen las tensiones últimas de su capacidad a flexión o corte.

En el caso de los muros, la falla por flexión se inicia en la base y se propaga hacia arriba, formando un mecanismo de colapso, mientras que la compresión del concreto o la mampostería representa una falla frágil no deseable. Por otro lado, la falla por cortante puede deberse a insuficiente refuerzo o a una combinación de flexión y deslizamiento en la base. Las juntas de construcción también influyen en este proceso.

Los muros, como estructuras rígidas, generan momentos de giros significativos en su cimentación. Si la cimentación no se diseña o construye adecuadamente, el muro puede volcarse, incluso afectando cimentaciones profundas. Además, debido a su naturaleza esbelta, los muros son susceptibles de fallar por pandeo, un tipo de colapso elástico que puede ocurrir antes de que se inicie la ruta de colapso del material.

Manifestaciones Patológicas

El comportamiento estructural está influenciado por diversos factores. Estos incluyen el diseño estructural, la calidad de los materiales utilizados, los procedimientos de construcción, las cargas de servicio aplicadas y la exposición ambiental. Materiales como el concreto y la mampostería, al ser frágiles, tienen resistencias relativamente bajas a tensiones de tracción. En

contraste, materiales más dúctiles, como el metal, la madera y la guadua, se utilizan para reforzar estructuras compuestas. A pesar de la elección del material, es común que los acabados incluyan materiales frágiles propensos a fisuras.

Los efectos ambientales, relacionados con procesos fisicoquímicos o electroquímicos, pueden provocar el deterioro de materiales, incluso sin la aplicación directa de cargas. Cualquier mecanismo que cause deformaciones superiores a la resistencia a la tracción de los materiales resultará en fisuración, que puede manifestarse de diversas formas según la siguiente descripción:

- El agrietamiento en estructuras puede presentarse de diversas formas según su causa. Puede manifestarse como grietas independientes o agrupadas, superficiales o profundas, y su apariencia varía según el contexto. Es crucial considerar estas fisuras durante el diseño y la construcción para garantizar la integridad de las edificaciones.
- El descascaramiento se refiere al desprendimiento de fragmentos de la superficie de un material debido a agrietamiento. Este fenómeno ocurre principalmente en materiales frágiles, como el concreto, la arcilla cocida, el material de soldadura y el hierro fundido. En esencia, es una manifestación visible de la degradación del material.
- El desconchamiento se refiere al desprendimiento puntual de pequeños fragmentos de la superficie de un material. Estos fragmentos suelen tener tamaños cercanos a los granos que componen el material. Ocurre principalmente en materiales frágiles.
- La delaminación se presenta cuando el agrietamiento separa el material en capas, formando superficies definidas y continuas.
- La desintegración ocurre cuando la fisuración es tan extensa que el material pierde por completo su integridad.

Principales Modos de Falla de los Elementos no Estructurales

Desplome. Corresponde a objetos los cuales constituyen la causa más frecuente de lesiones. Cuando los objetos no están adecuadamente asegurados y son expuestos a fuerzas sísmicas, pueden desplomarse según su ubicación, tamaño, forma y orientación.

Volcamiento. Elementos con un centro de gravedad elevado, tales como paneles eléctricos, estanterías y particiones internas, son propensos a volcarse, lo que constituye un riesgo significativo para los ocupantes.

Deslizamiento. Los componentes instalados sobre suelos, techos o plataformas son particularmente vulnerables a deslizarse. Estos movimientos pueden impactar las conexiones eléctricas o de tuberías, creando riesgos de incendios o derrames de agua. El deslizamiento puede dañar tanto los elementos afectados como a los que están en su proximidad.

En el Anexo 2, se compila los diferentes casos de comportamiento e interpretación de fisuras, según (Farbiarz et al., 2011), los cuales se proponen como contenido de apoyo para el diagnóstico de los diferentes casos que se puedan presentar en estructuras de concreto y mampostería estructural.

(Helene & Pazini., 2003), presenta un documento bastante completo desde la génesis de las fisuras, su identificación, determinación del tipo de intervención, materiales a usar, metodologías para adelantar las reparaciones, se constituye en una excelente guía para el profesional.

El contenido de la información revisada puede compararse (ver tabla 3) de la siguiente manera:

Tabla 3. Comparación de contenido de bibliografía revisada en cuanto al tema de fisuras.

Ítem/referencia	(Universidad de Santo Tomas, 2021)	(Restrepo & Cano, 2022)	(García, 2019)	(Farbiarz et al., 2011)	(Helene & Pazini, 2003)
Generalidades/ causa de las fisuras	Contenido detallado con registro fotográfico de cada caso	Contiene información básica al respecto. Su enfoque está dirigido a muros de mampostería reforzada y no reforzada.	Contenido de buena calidad al respecto, algunas explicaciones en otros textos se aprecian mejor enfocadas.	Buen contenido sobre este tema	Contenido amplio sobre este tema
Clases o tipos de fisuras	Tiene buen material sobre este tema	Buen contenido desde el punto de vista de mampostería	No se detalla mucho este aspecto, en vista que el documento se enfoca en unos casos de estudios.	El contenido en este aspecto es amplio, practico, guiado amigable para el interesado	Contenido amplio sobre este tema

Documentos de ayuda para levantamiento de inventario en campo	No contiene material sobre este aspecto.	No contiene material sobre este aspecto.	Tiene ejemplos prácticos de aplicación con algunos formatos particulares	Contiene el material más amplio en este aspecto, ya que el propósito del documento es justamente servir de herramienta para evaluar a partir de información de campo	Contenido amplio sobre este tema
Planeación para el tratamiento de fisuras	Contiene material de apoyo para este aspecto.	No presenta contenido dirigido a este aspecto.	De manera tácita se encuentra la planeación para los casos tratados en esta tesis.	No contiene material relacionado con este aspecto.	Contenido amplio sobre este tema
Tratamiento de fisuras	Presenta un contenido amplio con relación a este aspecto.	No presenta contenido al respecto.	Aplicada únicamente a los casos tratados en la tesis.	No presente contenido en cuanto a esta temática.	Contenido amplio sobre este tema

Fuente. Autores

4. Metodología

En este caso específico se trata de una edificación religiosa ubicada en Medellín barrio Robledo Villaflora, que presenta problemas significativos de fisuras y grietas en algunos de los muros. Este tipo de daños no comprometen la integridad física del edificio, al igual que su valor y su uso funcional.

A través de la evaluación de este caso, se busca identificar las causas subyacentes de estas alteraciones.

Recopilación de Información.

El caso particular que a analizar se basa en unos diseños realizados en el año 2002. Esta edificación se divide en dos estructuras. La primera tiene una forma de "L" y consta de tres niveles, con una estructura principal de resistencia sísmica en pórticos de hormigón armado; la segunda estructura ocupa el resto del área construida y se trata de un templo de grandes dimensiones, diseñado para albergar una capacidad de 500 personas. Esta sección del edificio se caracteriza por contar con grandes luces que permiten amplios espacios sin la necesidad de muchos soportes intermedios, y su estructura principal está constituida por elementos de acero o estructura metálica. En la figura 23 se puede observar el plano arquitectónico con la respectiva distribución de la edificación.

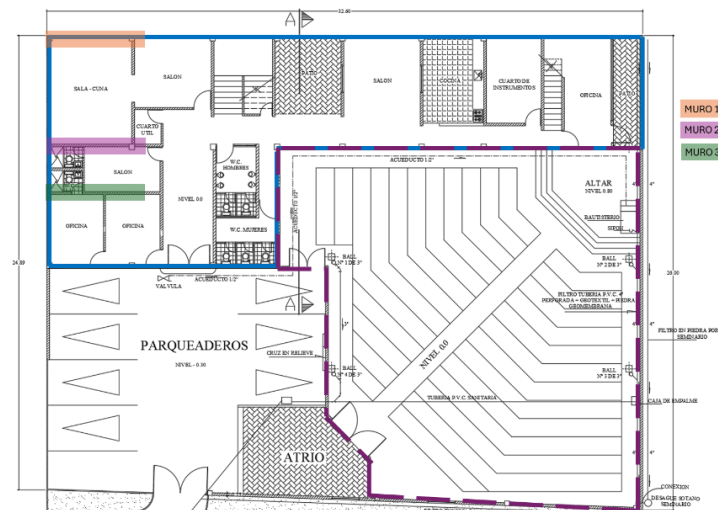


Figura 23. Plano arquitectónico (línea morada punteada hace parte de la estructura metálica y línea azul continua hace a pórticos en concreto reforzado de tres niveles).

Fuente. Autores

En cuanto a los muros que presentan fisuración, estos están localizados de la siguiente manera: el muro 1 presenta fisuras en el primer nivel, siendo este el muro con mayor afectación. Además, los muros 2 y 3, paralelos al muro 1, también presentan fisuras, aunque de menor magnitud.

Nota. Entre la información recopilada con quienes presenciaron la construcción de la edificación, el terreno se caracterizaba por una gran cantidad de empozamientos de agua o nacimientos de agua.

Según la datación de los planos, indica que las normas de diseño, las exigencias en las curadurías y las prácticas de algunos profesionales no profundizaban en detalles de elementos no estructurales como lo son los muros de mampostería de la edificación, en particular en lo referente a la necesaria junta entre estos y la estructura principal de resistencia sísmica.

Analizar el Sector

Es esencial investigar si otras edificaciones cercanas presentan afectaciones similares, lo que podría indicar causas zonales, como movimientos del suelo o condiciones ambientales que afecten a la totalidad del área. Además, deben considerarse factores puntuales relacionados directamente con la edificación, como la naturaleza del suelo. En este sentido, resulta esencial inspeccionar si existen grietas, hundimientos o deslizamientos en el terreno, ya que estos fenómenos podrían estar contribuyendo o incluso ser la causa principal de los daños observados en la estructura (figura 24).

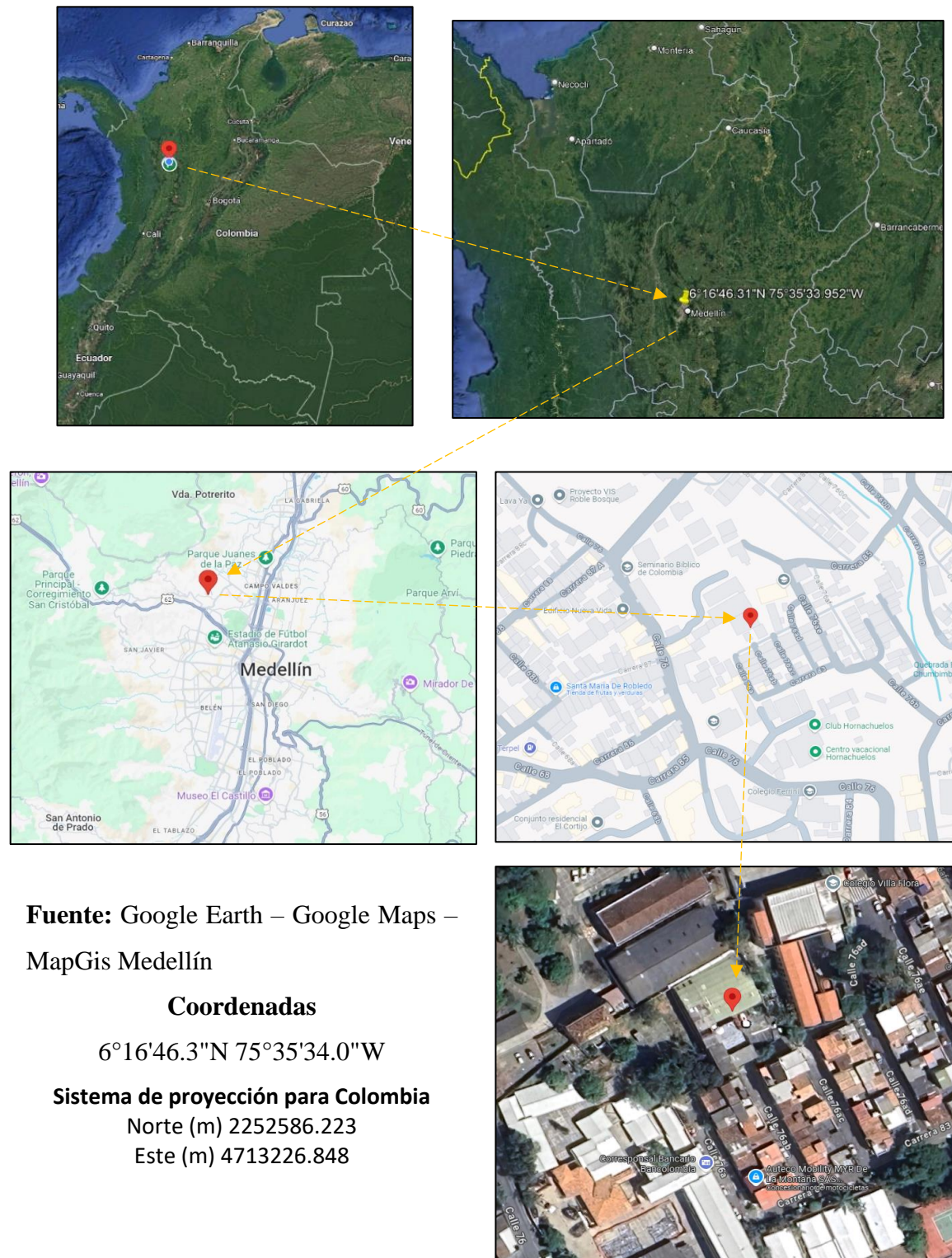


Figura 24. Análisis del sector

Fuente. Autores

Evaluar los Aspectos Preexistentes de la Edificación Desde el Exterior.

En la Figura 25 se observa que la estructura aporticada de la edificación hasta el segundo nivel, teniendo un tercer nivel en mampostería reforzada, en el costado lateral izquierdo se aprecia un voladizo y una distribución de ventanas. La estructura aporticada no evidencia fisuras.



Figura 25. Fachada exterior lateral izquierda

Fuente. Autores

Es de resaltar que, si bien no hace parte de la estructura estudiada, el muro mostrado en la Figura 26 colindante con el antes conocido Colegio Conrado Gonzáles, presenta fisuras, lo que llama la atención, ya que este muro es paralelo al muro 1 en estudio induciendo a visualizar que estas obedecen a un problema común o con origen en una de las dos edificaciones.



Figura 26. Fisuración en muro colindante a muro 1

Fuente. Autores

Con lo expresado anteriormente, se procedió a explorar el muro del colegio colindante con la edificación como se muestra en las figuras 27 y 28, encontrando lavado de finos y asentamientos, cuyas evidencias más notorias coinciden con aquellas zonas, donde estas afectaciones son más amplias.



Figura 27. Panorámica de muro colegio colindante.

Fuente. Autores.



Figura 28. Asentamiento de muro colegio colindante.

Fuente. Autores.

Recopilando información con los habitantes del sector, manifestaron que en épocas de invierno se constata el flujo de agua a lo largo de las grietas que se presentan en la parte inferior del muro.

En los demás costados de la edificación, no presentan ninguna evidencia que puedan relacionarse con el fenómeno.

Evaluar Elementos Estructurales.

Como se muestra en la Figura 25 y el recorrido al interior de la edificación, los elementos estructurales presentan fisuras, pandeos, flexiones, hundimientos y deformaciones que indiquen el mal funcionamiento de los componentes del sistema principal de resistencia sísmica.

Valorar los Elementos Estructurales, su Localización, Grado de Deterioro, la Cantidad de Elementos Afectados y las Áreas que Comprenden los Elementos Fisurados.

En concordancia con lo expuesto anteriormente, estos elementos no presentan ningún tipo de deterioro ni afectaciones.

Evaluar Elementos no Estructurales.

Muro 1

Este muro presenta descascaramiento, desprendimiento de acabados, fisuras de 1.3mm de ancho, algunas de ellas se pueden catalogar como grietas, ya que atraviesan elementos de lado a lado; dichas situaciones se pueden observar en la Figura 29, así mismo el proceso de fisuración muestra un patrón en diagonal marcado por las líneas rectas que indican una tendencia, siendo este caso similar al indicado en la tabla 27 del anexo 2, pero a diferencia de este, la fisuración no se presenta en la parte inferior del muro sino en la superior, por lo que el comportamiento e interpretación de la fisura en este caso, obedecería a fisuración por flexión. Siendo catalogado el daño como severo y coincidiendo con el condicionante L/H es mayor de 1.5.



Figura 29. Fisuración y agrietamiento en muro 1

Fuente. Autores.

Al detallar la fisuración y agrietamiento en el muro, se observa que hay un desplazamiento de la fisura en las figuras 30 y 31, adicionalmente, está más comprometido con una fisuración diagonal, lo cual hace referencia a problemas de cortante. La viga, la columna y los pisos no están fisurados. Existe también una problemática de desprendimiento de este acabado (figuras 32 y 33) y la superposición del revoque de ambos lados.

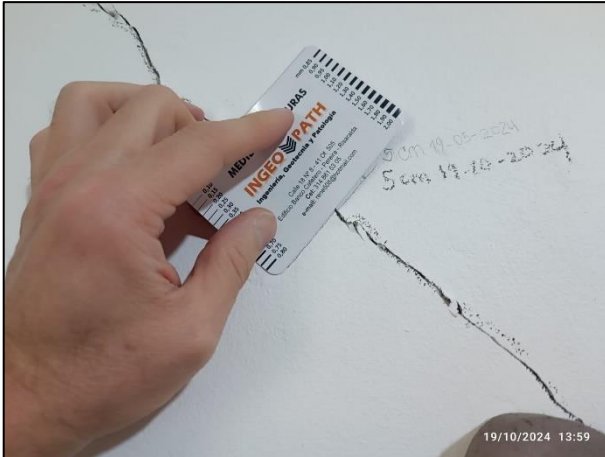


Figura 30. Desvío de fisura en muro 1.

Fuente. Autores.

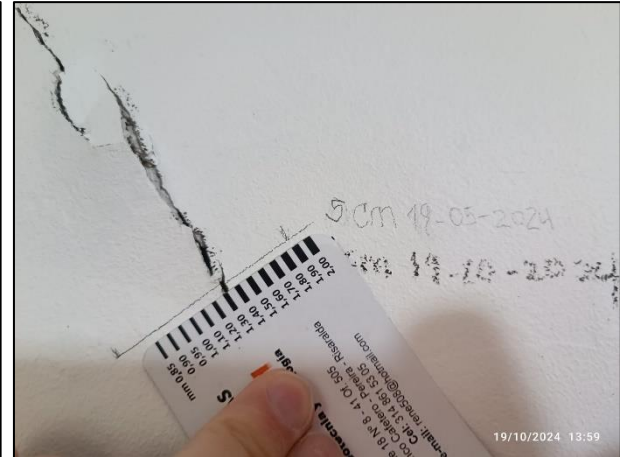


Figura 31. Fisuración en muro 1.

Fuente. Autores.

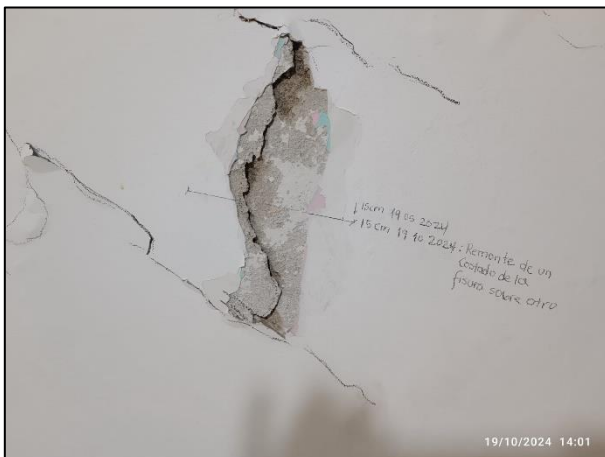


Figura 32. Grieta y descascaramiento en muro 1.

Fuente. Autores.



Figura 33. Descascaramiento en muro 1.

Fuente. Autores.

Es recomendable hacer seguimiento si el fenómeno obedece a lo descrito o en caso tal a una problemática estructural, que debe ser detectada a tiempo.

Muro 2

Este muro presenta un inicio de fisuración provocado por el contacto que se está teniendo entre la mampostería y la super estructura (falta de elementos no estructurales) como se señala en la Figura 34, al igual que está relacionada con movimientos leves del edificio.



Figura 34. Fisuración en muro 2.

Fuente. Autores.

Muro 3

En las Figuras 35 y 36 el inicio de un proceso de fisuración con tendencia forma y extensión de algunas de las fisuras que presenta el muro 1, lo que puede indicar que se encuentra en una fase inicial del fenómeno y que está asociado a las mismas causas que afectan el muro 1.



Figura 35. Fisuración en muro 3.

Fuente. Autores.

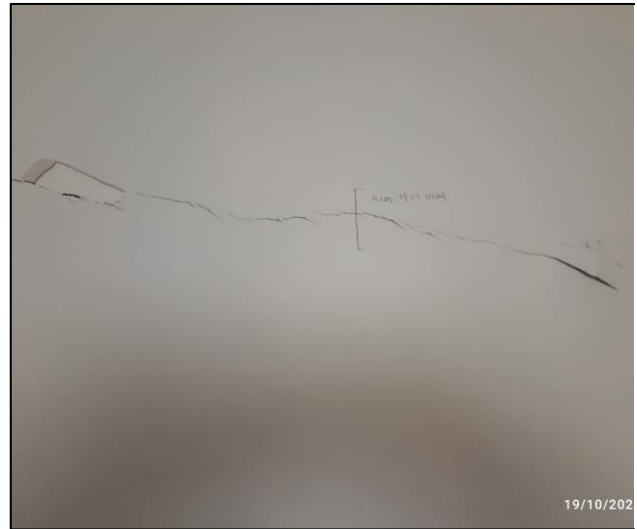


Figura 36. Control de fisuración en muro 3

Fuente. Autores.

Clasificar el Grado de Afectación del Bien Inmueble.

El grado de afectación como se indicó anteriormente es medio (tabla 27).

Brindar Capacitación a los Directamente Interesados en la Situación.

Se pondrá en conocimiento con los propietarios del inmueble.

Proceder con las Comunicaciones a las Autoridades.

No aplica.

Conclusiones

- La interpretación y comportamiento de las fisuras, es útil también como una fase temprana de la patología de estructuras, dando incluso indicios para la continuidad y direccionamiento de estos estudios.

- Un diagnóstico temprano y una adecuada intervención ayudan a prolongar la vida útil de las edificaciones, minimizando el riesgo de colapso y asegurando la seguridad de los usuarios.

- El documento resalta que, además de las medidas correctivas, es fundamental adoptar un enfoque preventivo en el tratamiento de fisuras en estructuras de concreto. La combinación de estas tecnologías con una intervención temprana puede reducir los riesgos de deterioro grave y minimizar el impacto en la funcionalidad de la edificación.

- Las fisuras en las estructuras de concreto pueden parecer superficiales o estéticas, pero su evolución sin la debida intervención puede comprometer significativamente la durabilidad y seguridad de las edificaciones. En consecuencia, es vital una monitorización constante y un mantenimiento preventivo para asegurar la longevidad de las estructuras y evitar costos mayores a largo plazo.

- Es importante resaltar que en la inspección realizada en la edificación no se encontraron elementos no estructurales (vigas y columnetas de confinamiento de la mampostería), se observó fue el contacto directamente con la superestructura, lo que conlleva a estar expuesto a fisuración de los muros, la norma NSR-10 hace énfasis en que la mampostería debe estar acompañada de los elementos no estructurales.

- Se presenta una oportunidad enmarcada dentro del grado de responsabilidad, lo que implica necesariamente el contacto con los habitantes o propietarios de la edificación, compartiendo las conclusiones que el diagnóstico e interpretación de fisuras arrojado, con la respectiva explicación de la situación que se está presentando. En este mismo sentido y en caso tal, sobre todo en condiciones que indiquen la probabilidad de colapso de una parte o de la totalidad de la edificación, informar a las autoridades competentes sobre la situación encontrado, teniendo como soporte una herramienta que permite evaluar ágil y rápidamente la condición estructural de la edificación.

Referencias

- Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica Presidencia De La República Red De Solidaridad Social. (2004). Manual para la Rehabilitación de Viviendas Construidas en Adobe y Tapia Pisada. <http://www.asosismica.org>
- Bigstock. (2020, December 24). ¿Por qué aparecen grietas en las paredes y cuáles son peligrosas? <https://acortar.link/aa50Ss>
- Condori, J. (2022). Fisuras en el Concreto Armado: Causas más comunes. <https://www.libreingenieriacivil.com/2022/09/fisuras-en-el-concreto-armad.html>
- Da Vinci. (2020). ¿Qué es una patología estructural? <https://acortar.link/wwDg1v>
- Euclid Group Toxement. (n.d.). Fisuras por Retracción por Secado. Retrieved June 18, 2024, from https://www.toxement.com.co/media/3444/retraccio-n_secado.pdf
- Farbiarz, J., Campos, A., Arango, H., & Cardona, D. (2011). GUÍA DE PATOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS, ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES. <http://www.asosismica.org><http://www.sire.gov.co>www.conlospiesenlatierra.gov.cowww.fopae.gov.coEvaluación de Daños <http://www.sire.gov.co/portal/page/portal/sire/componentes/EvaluacionDanos>
- García, R. K. (2019). Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Concreto Armado Mediante el comité ACI 224.
- Gonzales, M. (n.d.). La Corrosión Del Concreto En Ambiente Marino. Retrieved June 12, 2024, from <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-continental/taller-de-tesis/67826-8-1-tesis/83907896>
- Hume Ingeniería. (2015). Corrosión de armaduras por filtración. <https://humeingenieria.es/blog/corrosion-de-armaduras-por-filtracion/>
- López, P. A. (2022). El fenómeno abrasión-erosión en obras hidráulicas Contenido. <https://alio.com.co/wp-content/uploads/2022/05/El-feno%CC%81meno-abrasio%CC%81n-erosio%CC%81n-en-obras-hidra%CC%81licas-ALIO%CC%81N-21042022.pdf>

- Monto Pinturas. (2017). Eflorescencia en paredes: medidas para prevenirla y acciones de reparación. <https://montopinturas.com/es/eflorescencia-en-paredes-medidas-para-prevenirla-y-acciones-de-reparacion>
- Newman, A. (2021). Structural Renovation of Buildings : Methods, Details, and Design Examples, Second Edition: Vol. Cap 9. <https://acortar.link/ont2RG>
- Patologías construcción. (2021, February). Patología + Rehabilitación + Construcción. <https://acortar.link/FOOwwM>
- Restrepo, M., & Cano, Y. (2022). Revisión Bibliográfica de Patologías en Muros de Mampostería Estructural y No Estructural [Universidad de Antioquia]. <https://acortar.link/UyqmlG>
- S.A.T / Paredes Exteriores. (2016, May 16). Como se impermeabiliza una pared con grietas o rajaduras? https://www.plavicon.com/site/contenedor_ArticuloBlogSat.php?post_id=10
- Sotomayor, C. (2020). ENTENDIENDO A LAS FISURAS Y GRIETAS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO Autor: Cristian Sotomayor C. <https://www.consultcreto.com/pdf/entendiendo.pdf>
- Structuralia Blog. (2016). Los 12 tipos de lesiones en edificios que todo Ingeniero/Arquitecto debe conocer. <https://blog.structuralia.com/los-12-tipos-de-lesiones-en-edificios-que-todo-ingeniero-arquitecto-debe-conocer>
- Universidad de Santo Tomas. (2021). Fisuras, Grietas y Humedades.

Anexos

Anexo 1.

Tabla 4. Clasificación de daños y habitabilidad en la edificación

Elemento o condición evaluada	Daños		Clasificación global del daño y habitabilidad			
			Habitable (Verde)	Uso restringido (Amarillo)	No habitable (Naranja)	Peligro de colapso (Rojo)
Estado general de la edificación.	1. Existe colapso (1. No 2. Parcial 3. Total)		1	1	2	2 o 3
	2. Desviación o inclinación de la edificación o de algún entrepiso (1. Si 2. No 3. No se pudo determinar)		2	2	3	1
	3. Falla o asentamiento de la cimentación (1. Si 2. No 3. No se pudo determinar)		2	2	3	1
	Comentarios		No existe colapso, inclinación de la edificación o fallas en su cimentación	Inclinación o colapso puntual de algunos elementos que no representan peligro para la estabilidad de la edificación	Edificios con colapso parcial inferior al 50% del área, donde la parte colapsada no está sobrecargando la estructura Existen dudas sobre posibles fallas de la cimentación	Edificios que han alcanzado estados últimos, con colapso total o parcial superior al 50% del área, notablemente inclinados o con entrepisos desplomados Hundimiento o asentamiento de la cimentación
Daños en elementos Estructurales	Niveles de daño Se evalúa en el piso de mayor afectación y los porcentajes se toman de los elementos esenciales de acuerdo con el sistema estructural	1. Ninguno				
		2. Leve	<30%	>30%		
		3. Moderado	No hay daño.	<30%	30 a 60%	>60%
		4. Fuerte	No hay daño.	<10%	10 a 30%	>30%
		5. Severo	No hay daño.	<5%	5 a 15%	>15%
	Comentarios	Daños muy leves y puntuales o que no evidencia ningún tipo de daño estructural	Los daños estructurales son tan puntuales que no reducen su capacidad global de resistencia ni ponen en peligro la estabilidad	Disminución de la capacidad de resistir cargas verticales u horizontales, pero no existe inestabilidad potencial	Disminución significativa de la capacidad para resistir cargas verticales o laterales en tal proporción que existe inestabilidad potencial	
Daños en elementos No estructurales	Niveles de daño Percepción global de los daños en la edificación verificando principalmente	Ninguno				
		Leve	<30%			
		Moderado	<30%	30 a 60%	>60%	
		Fuerte	No hay daño.			

	aquellos elementos que representan mayor peligro	Severo Comentarios	No hay daño. Los daños son leves y muy puntuales y no ofrecen peligro para la integridad de las personas	Peligro puntual de falla o caída de objetos, en zonas diferentes a los accesos y escaleras Se pueden remover fácilmente	Daños generalizados Problemas en escaleras y accesos o en fachadas, balcones, cielos rasos que están en peligro de caer	
Problemas geotécnicos	11. Falla en talud o movimientos en masa 12. Asentamientos, subsidencia o licuación (1. No 2. Parcial 3. Total)		1	1	2	3
	Comentarios	Fuera de la zona de influencia del fenómeno geotécnico y no existe ninguna posibilidad de reactivación	La edificación no se encuentra localizada en el área directa de influencia del fenómeno	El fenómeno es puntual, pero sugiere una disminución significativa de la capacidad del suelo a resistir cargas. La edificación se encuentra dentro del área de influencia o de reactivación del fenómeno	La edificación se encuentra localizada sobre o muy cerca al área de influencia del fenómeno y el potencial de reactivación es inminente o muy probable	

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Anexo 2.

Patologías en Concreto y Mampostería Estructural

Corrosión Galvánica. La corrosión de los metales puede afectar seriamente la integridad de los elementos fabricados con estos materiales, sean elementos de acero estructural o elementos de concreto o mampostería reforzados. En la tabla 5 observa cómo se pueden formar las siguientes fisuras:

Tabla 5. Fisuras por corrosión

Tipo de Fisura	Características	Causas
Fisuras por Corrosión de la Armadura	Las grietas en las estructuras de hormigón se alinean a lo largo de la armadura y tienden a manifestarse principalmente en las barras ubicadas en las esquinas. Con el tiempo, el ancho de estas grietas aumenta, llegando a medir entre 0.5 y 1 mm. Normalmente, estas fisuras se presentan entre dos y cinco años después de realizar el hormigonado.	La corrosión de la armadura, a menudo causada por un recubrimiento inadecuado o la incapacidad del concreto para protegerla, como en la carbonatación, es la principal causa. El óxido resultante ejerce presión sobre el recubrimiento, provocando su ruptura.
Fisuras por Corrosión de la Armadura	En las áreas con alta densidad de armaduras superficiales, se observan fisuras variadas y dispersas. A lo largo del tiempo, el ancho de estas fisuras puede aumentar hasta alcanzar valores significativos, oscilando entre 0.5 y 1 mm.	La corrosión de la armadura, generalmente debido a un recubrimiento insuficiente o a la incapacidad del concreto para protegerla, es la causa principal. La formación de óxido ejerce presión sobre el recubrimiento, provocando su estallido.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Ciclos de Humedad, Reacción Álcali-Sílice, Ataque de Sulfatos

El agua es el elemento que produce la reacción y a su vez el medio a través del cual llegan los químicos agresivos. Los cambios de temperatura, los agentes climáticos con o sin hielo deterioran los materiales más susceptibles a ese fenómeno. El agua puede tornarse en elemento que propicia la reacción entre álcalis y cemento intensa, en el cemento y en los agregados, también puede ocurrir sulfatación. Estas reacciones traen ataques que implican cambios de volumen

generando tensiones que fisuran el material (sobre todo considerando la poca resistencia a tracción que tiene el concreto).

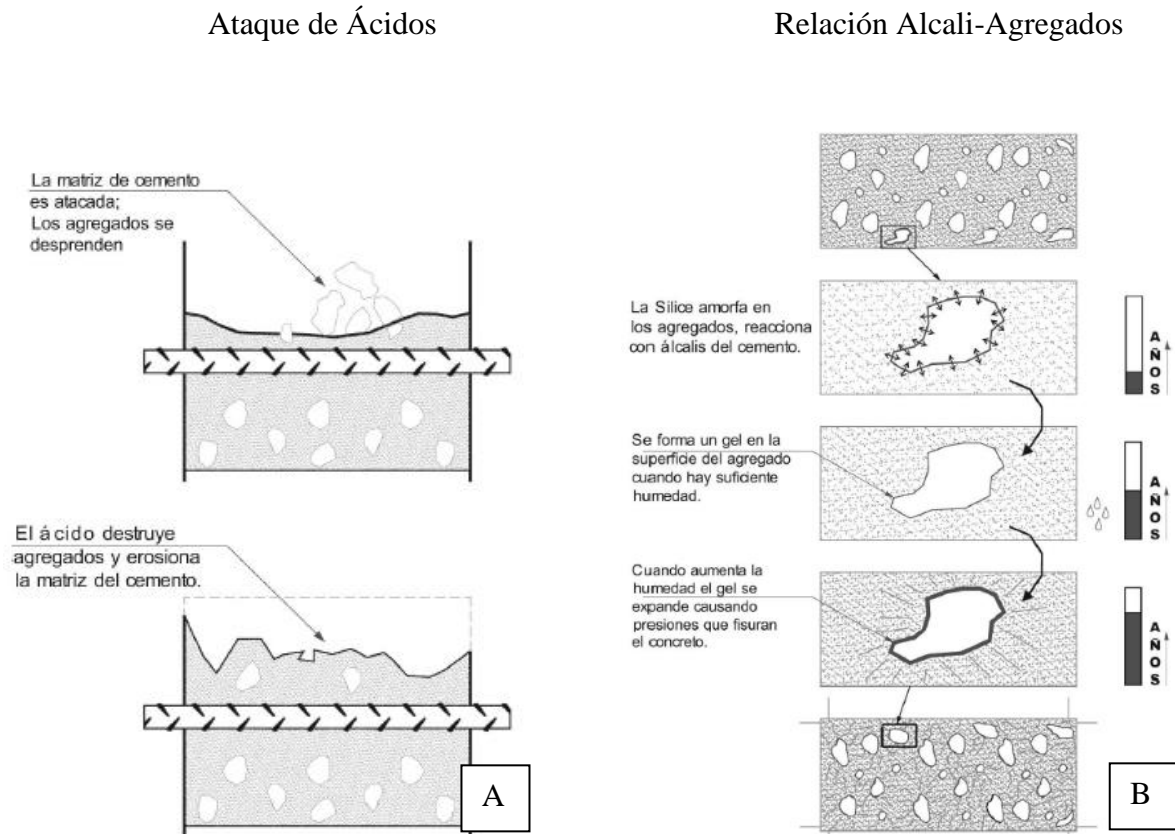
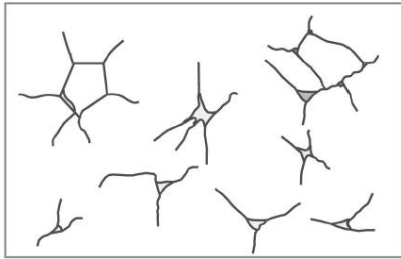


Figura 37. (A) Ataque de ácidos y (B) Relación Alcali - Agregados.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 6. Ataque de sulfatos.

Ataque de Sulfatos	Características	Causas
	<p>Fisuración en malla o en estrella. A veces se presentan exudaciones blancas de gel o de calcita. Pueden presentarse deformaciones notables de la superficie, o conos de expulsión de granos reactivos a la superficie. Suelen aparecer entre dos y cinco años del concreto</p>	<p>Debidas a una reacción entre áridos que contengan silicio reactivo y cementos cuya concentración es alta en álcalis y solo se presentan en atmósfera húmeda.</p>



Fisuras de distribución aleatoria. Frecuentemente aparecen depósitos blancos en los bordes de la fisura

Debidas a una reacción entre áridos que contengan silicio reactivo y cementos cuya concentración es alta en álcalis y solo se presentan en atmósfera húmeda.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Cambios de Volumen por Variaciones de Humedad y de Temperatura

Los cambios de temperatura sobre los materiales producen en ellos cambios de volumen, de igual manera en materiales impermeables el ingreso de agua o humedecimiento y secado del mismo producen cambios de volumen al interior del material, estos cambios de volumen a su vez generan tensiones que pueden llevar el material a fisuración.

Se presentan las siguientes situaciones en cuanto a la fisuración producida por cambios de volumen por variaciones de humedad y temperatura:

Temperaturas Desiguales

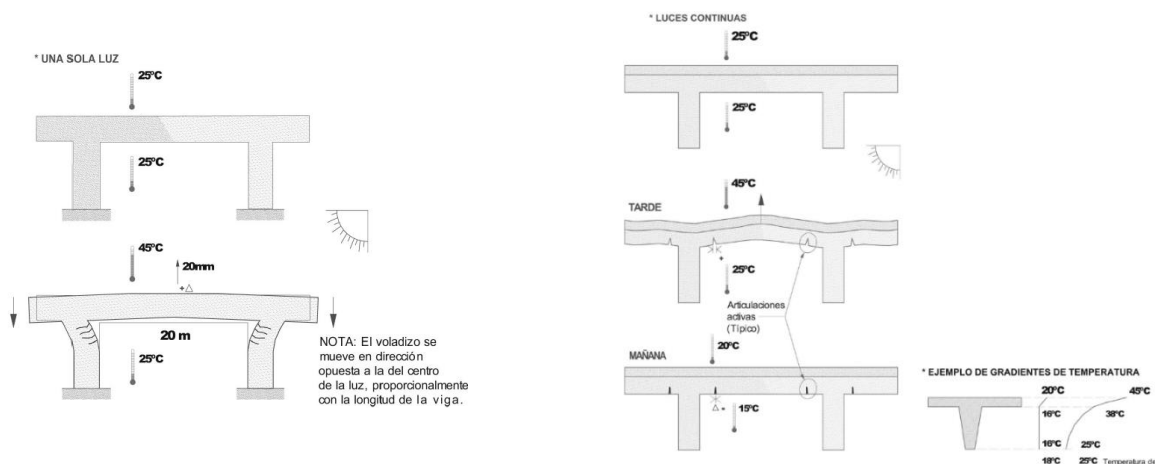
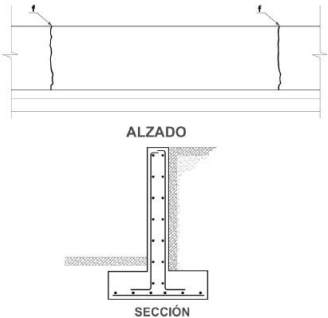
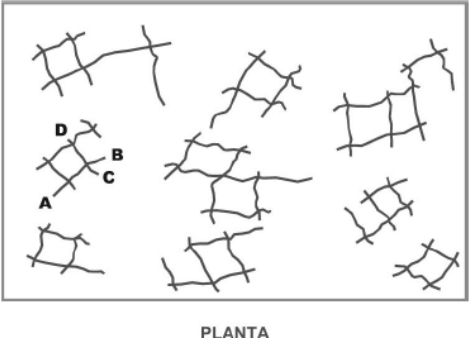


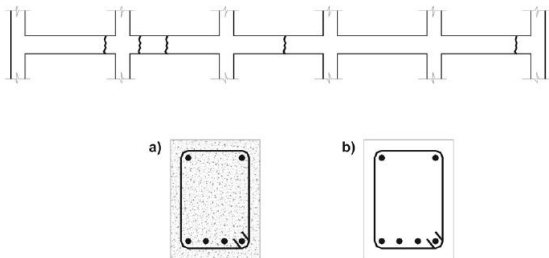
Figura 38. Temperaturas desiguales

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 7. Fisuración por contracción y retracción

Tipo de Fisura	Características	Causas	
Fisuración de un Muro por Contracción Térmica Inicial	Fisuras de ancho apreciable (0.15 a 0.3 mm). Aparecen generalmente entre un día y una semana a partir del vertido del concreto.	La fisuración en muros suele ocurrir en muros construidos sin juntas de contracción adecuadas o sin suficiente armadura de retracción y temperatura. El enfriamiento rápido, temperaturas altas, debido a la lenta disipación de calor de hidratación en comparación con la temperatura ambiente.	
	Fisuras, entre 0.05 y 0.2 mm de ancho, que surgen varias semanas después del fraguado del concreto. Estas fisuras, generalmente aleatorias, aparecen cuando la cantidad de refuerzo es elevada y no sigue una dirección específica. Una vez formada una grieta, como la AB, las tensiones en esa dirección se liberan, concentrándose en la dirección perpendicular, lo que provoca la formación de nuevas grietas, como la CD. Este patrón de fisuración recuerda la textura de la piel de un cocodrilo	Exceso de finos en la arena (granulometría fina). Cuantías mínimas insuficientes (dosificación deficiente). Curado escaso (fraguado incompleto).	
Fisuración de una Losa por Retracción Hidráulica			

Fisuración de un Dintel por Retracción Hidráulica



Micro fisuras aleatorias, estables y superficiales, post-endurecimiento

Exceso de finos en la arena (granulometría fina).
Cuantías mínimas insuficientes (dosificación deficiente). Curado escaso (fraguado incompleto).

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Manifestaciones de Acciones Físico-Mecánicas

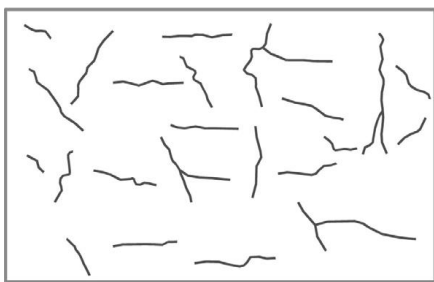
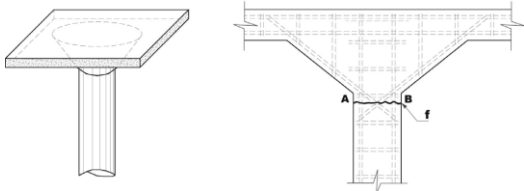
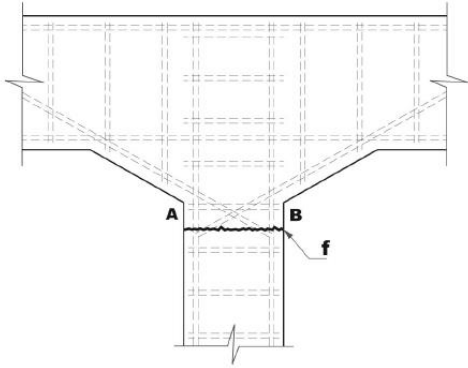
Los materiales de construcción, al ser sometidos a carga a lo largo del tiempo, experimentan fenómenos de relajación que inducen deformaciones viscoelásticas. Estas deformaciones, aunque de carácter lento, pueden comprometer la integridad estructural, especialmente en elementos sometidos a restricciones geométricas.

La hidratación del cemento, proceso fundamental en el endurecimiento del concreto, genera contracciones que, en presencia de restricciones, pueden inducir tensiones significativas y, en casos extremos, fisuración. Este fenómeno, conocido como retracción, se ve agravado por el flujo plástico, caracterizado por deformaciones continuas bajo carga constante.

La combinación de retracción y fluencia puede desencadenar problemas de fisuración, pérdida de adherencia y disminución de la capacidad portante de los elementos estructurales. Por lo que el análisis y diseño de estructuras deben considerar estos efectos a fin de garantizar su durabilidad y seguridad.

Tabla 8. Manifestaciones de acciones físico-mecánicas

Tipo de Fisura	Características	Causas
Fisuración por Asiento Plástico en la Unión de Dintel a Columna	Las fisuras en las cabezas de columnas son causadas por la combinación de restricciones impuestas por los estribos, una alta relación agua/cemento y la falta de confinamiento en la zona superior de la columna. Estas condiciones generan tensiones de tracción que superan la resistencia a la tracción del concreto, resultando en fisuras.	Exceso de exudación (separación de los componentes de la mezcla, pérdida de cohesión). Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento (pérdida rápida de humedad, reducción de la resistencia). Exceso de relación A/C (Aumento de la porosidad, disminución de la durabilidad).
Fisuración por Asiento Plástico en el Fuste de una Columna	Se observaron micro fisuras de 0.15-0.3 mm, alineadas con la armadura, atribuibles a la retracción plástica y confinamiento en las primeras 180 minutos post-vertido. Estas fisuras son comunes en elementos estructurales sometidos a condiciones ambientales desfavorables durante el fraguado inicial	Exceso de exudación (separación de los componentes de la mezcla, pérdida de cohesión). Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento (pérdida rápida de humedad, reducción de la resistencia). Exceso de relación A/C (Aumento de la porosidad, disminución de la durabilidad).
Fisuras de una Losa o Pavimento por Retracción Plástica	"Se observaron micro fisuras de 0.2 a 0.4 mm, predominantemente perpendiculares a la armadura mayor, atribuibles a la retracción plástica y a factores externos como el viento y cambios de espesor, apareciendo entre la primera y sexta hora post-vertido	Exceso de exudación (separación de los componentes de la mezcla, pérdida de cohesión). Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento (pérdida rápida de humedad, reducción de la resistencia). Exceso de relación A/C (Aumento de la porosidad, disminución de la durabilidad).



PLANTA

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

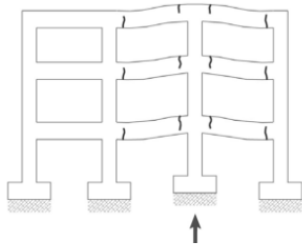
Asentamiento Relativo Entre Apoyos. El asentamiento relativo entre puntos de apoyo en una estructura se refiere a las diferencias en su deformación vertical. Si un apoyo se hunde más que otro, pueden surgir daños en elementos estructurales y no estructurales. Es crucial controlar y predecir estos asentamientos para mantener la estabilidad y la integridad de la construcción.

Tabla 9. Fisuración por asiento de columna

Tipo de Fisura	Características	Causas
Fisuración por Asiento de Columna de Fachada	Entre estas las fisuras incluyen un ancho variable y una dirección vertical o con poca inclinación respecto a la vertical. Estas fisuras suelen aparecer en la cara inferior de la viga, junto a la columna, y se extienden hasta la cara superior, junto a la columna inmediata	Asiento de la columna de esquina
Fisuración por Asiento de Columna Intermedia	Las fisuras, de ancho variable y orientación vertical o ligeramente inclinada, aparecen en la cara inferior junto a la columna y en la cara superior de las vigas opuestas. Su longitud disminuye hacia las plantas superiores.	Asiento de la columna intermedia
Fisuración por Ascenso de Columna de Fachada	Las fisuras tienen un ancho variable y se orientan verticalmente o con poca inclinación respecto a la vertical. Aparecen en la cara superior de la viga junto a la columna que asciende y en la cara inferior en el extremo opuesto. La longitud de las fisuras disminuye hacia las plantas superiores.	En suelos expansivos, se realiza la inyección del terreno en las zonas cercanas para aplicar un empuje vertical sobre la cara inferior del cimiento, superando la carga que actúa sobre él en esa etapa de la construcción.

NOTA: La sintomatología de este caso es muy similar a la de FISURACIÓN POR ASIEN TO DE COLUMNA DE FACHADA

Fisuración por Ascenso de Columna Intermedia



NOTA: La sintomatología de este caso es muy similar a la de FISURACIÓN POR ASIENTO DE LA COLUMNA INTERMEDIA

Las fisuras, de ancho variable y dirección vertical o ligeramente inclinada, se localizan en la cara superior de la viga junto a la columna ascendente y en la cara inferior del extremo opuesto. Su longitud disminuye hacia las plantas superiores.

En suelos expansivos, se lleva a cabo la inyección del terreno en áreas cercanas para aplicar un empuje vertical sobre la cara inferior del cimiento, de manera que supere la carga que actúa sobre él durante esa fase de la construcción.

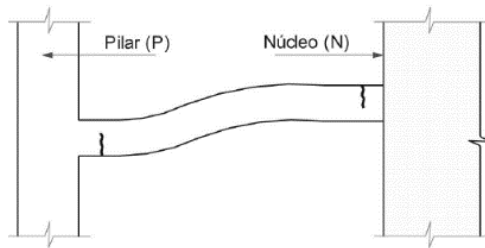
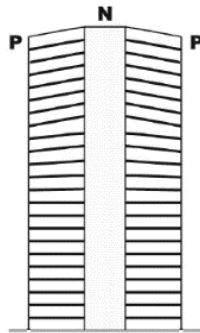
Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Fisuras por Diferencia de Acortamiento

Tabla 10. Fisuras por diferencia de acortamiento (entre columnas y núcleo de un edificio alto)

Entre Columnas y Núcleo de un Edificio Alto

Grafica



Características

Se observaron micro fisuras de 0.05 a 0.15 mm, predominantemente verticales, en caras superiores de vigas y losas de edificios altos, con mayor incidencia en pisos superiores, atribuibles a deformaciones diferenciales y efectos de pandeo.

Causas

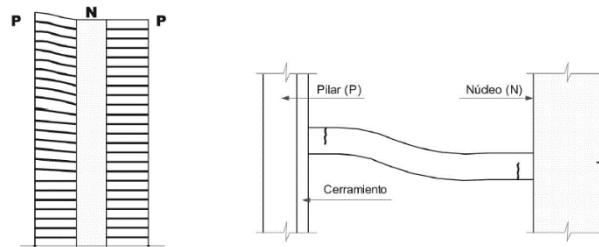
La fisuración se debe a acortamientos diferenciales por fluencia entre el núcleo, con baja compresión en servicio, y las columnas de fachada, dimensionadas por resistencia. Esta diferencia genera tensiones que superan la resistencia a tracción del concreto.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 11. Fisuras por diferencia de acortamiento (entre columnas de fachada situadas en el exterior y núcleo interior de un edificio alto)

Entre Columnas de Fachada Situadas en el Exterior y Núcleo Interior de un Edificio Alto

Grafica



Características

Se observaron micro fisuras verticales de 0.05 a 0.15 mm en caras inferiores de vigas y entrepisos, cercanas al núcleo y superiores a columnas exteriores en edificios de más de 20 pisos. La intensidad de las fisuras disminuye con la altura, siendo máximas en los pisos superiores.

Causas

Las fisuras se deben a la expansión térmica diferencial entre elementos exteriores expuestos a la radiación solar y elementos interiores en ambiente controlado. En climas fríos, el proceso se invierte

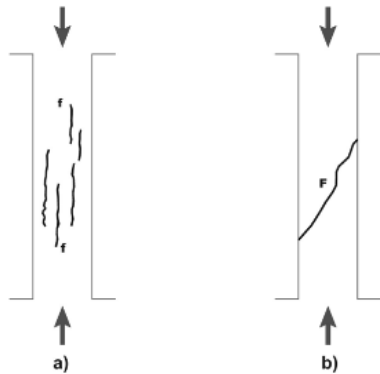
Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Deformaciones Bajo Carga Estática

El diseño de estructuras de concreto reforzado considera la fisuración como un estado límite de servicio. La aparición de fisuras no implica necesariamente un fallo estructural, siempre y cuando estén controladas y no afecten la durabilidad de la estructura.

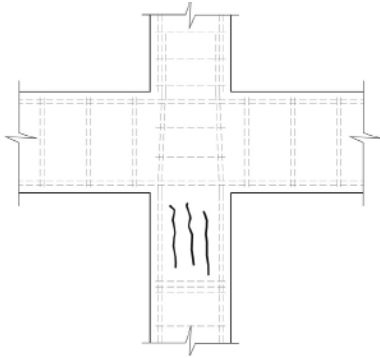
Tabla 12. Fisuración por deformaciones bajo carga estática

Tipo de Fisura	Características	Causas
Fisuración en Columnas por Agotamiento de la Resistencia del Concreto	En elementos de concreto con contenido de humedad normal o elevado, las fisuras se desarrollan principalmente en dirección paralela al eje de la columna. Fisuras inclinadas, de menor frecuencia y típicamente asociadas a condiciones de secado, aparecen a cargas cercanas a la rotura (80-90%).	A pesar de una aparente falla por compresión en la zona A, el mecanismo de rotura es dúctil, gobernado por el agotamiento por fluencia de la armadura, lo que indica un comportamiento estructural satisfactorio.



Tipo de Fisura

Fisuración Vertical en Cabeza de Columna



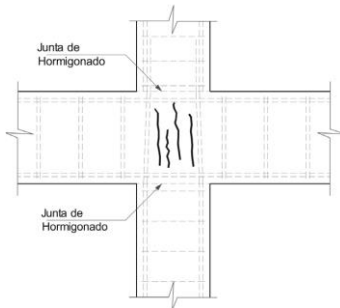
Características

El mecanismo de falla es comparable al observado en el caso anterior.

Causas

La ausencia de un confinamiento adecuado, manifestado en la escasez y distribución no uniforme de estribos, ha comprometido la integridad estructural al permitir el deslizamiento del concreto y la propagación de fisuras.

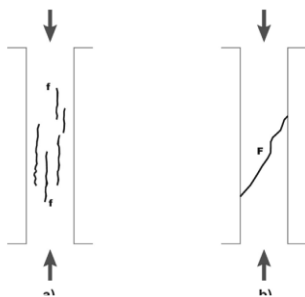
Fisuración Vertical en Nudo



Patología caracterizada por múltiples micro fisuras paralelas a la fibra, localizadas en la zona de conexión de la columna.

La sustitución no intencional de concreto de mayor resistencia por uno de menor capacidad en columnas de edificios altos compromete la integridad estructural, manifestándose en fisuración.

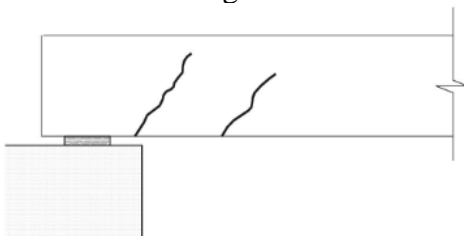
Fisuración en Columnas por Agotamiento de la Resistencia del Hormigón



En el estado límite último de flexión, se caracteriza por una fisuración difusa y pérdida de adherencia acero-hormigón. El mecanismo resistente se transforma en un arco, con la formación de una fisura principal en la zona de tracción.

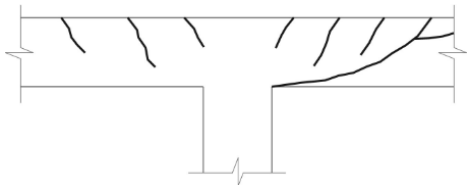
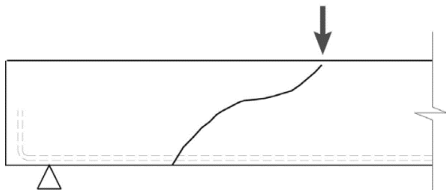
A pesar de que la fisura se evidencia en el concreto, la causa raíz de la falla es el agotamiento por fluencia de la armadura, lo cual demanda una cuantía adecuada y el desarrollo de la tensión de fluencia.

Fisuras de Esfuerzo Cortante por Tracción Diagonal



Fisuración diagonal (45°) influenciada por la armadura de tracción. Su apertura es variable, aumentando con el momento flector. Múltiples fisuras paralelas son comunes

Las fisuras son consecuencia de la superación de la resistencia al cortante del concreto, manifestándose como tensiones principales diagonales que exceden la capacidad del material.

Tipo de Fisura	Características	Causas
<p data-bbox="155 302 639 336">Fisuras de Esfuerzo Cortante/Flexión</p> 	<p data-bbox="740 302 1084 520">La presencia de fisuras flexo-cortantes, con mayor apertura en la zona de tracción, sugiere un avanzado estado de daño en el elemento estructural.</p>	<p data-bbox="1117 302 1382 556">La combinación de esfuerzos cortantes, flectores y tractores excede la resistencia del material, provocando la fisuración.</p>
<p data-bbox="155 562 690 630">Fisuras de Esfuerzo Cortante en Caso de Cargas Concentradas</p> 	<p data-bbox="740 562 1084 819">Fisura diagonal con ancho variable, máximo en la zona de tracción y decreciente hacia la zona comprimida, siguiendo una trayectoria curvilínea hacia la carga concentrada</p>	<p data-bbox="1117 562 1417 819">"El análisis estructural revela una combinación crítica de tracción diagonal y concentraciones de esfuerzos en la zona afectada</p>

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Deformaciones Bajo Carga Sísmica

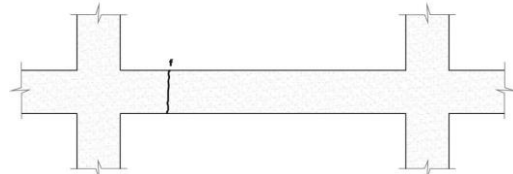
Los mecanismos de disipación de energía sísmica involucran deformaciones plásticas concentradas en zonas específicas de la estructura. La localización y severidad de estas deformaciones dependen de la configuración estructural y de las características del sismo. Es esencial distinguir estos daños de aquellos originados por otras causas.

Se presenta a continuación se ilustran los daños en estructuras tipo pórticos y de muros estructurales:

Pórticos:

Vigas Daños por Flexión

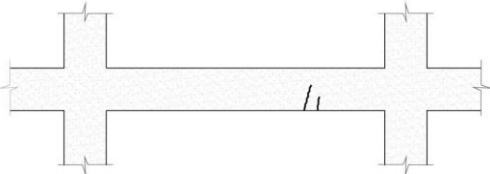
Tabla 13. Vigas daños por flexión – Fisura vertical.

Daño	Descripción del Daño
<p data-bbox="180 1619 440 1652">Ninguno / Muy leve</p> <p data-bbox="347 1675 542 1696">FISURA VERTICAL EN VIGA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="699 1619 1433 1696">• Ninguna fisura o fisuras de menos de 0.2 mm de anchura, casi imperceptible <li data-bbox="699 1703 1433 1780">• Fisura vertical seccionando generalmente la sección completa <li data-bbox="699 1787 1433 1875">• Posición próxima al nudo

Leve	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm • Fisura vertical seccionando la sección completa
Moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm • Fisura vertical seccionando la sección completa
Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras hasta de 6 mm • Fisura vertical seccionando la sección completa • Puede verse el refuerzo
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm • Expulsión de material • Posible pandeo de refuerzo longitudinal.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

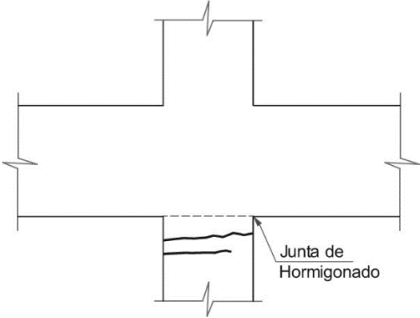
Tabla 14. Vigas daños por flexión – Fisuras inclinadas

Daño	Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve <small>FISURAS INCLINADAS EN VIGA</small> 	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras verticales o con inclinación leve • En cualquier lugar de la longitud, pero no cerca al nudo. • Ancho variable • Apertura máxima a nivel de la armadura de tracción
Leve	Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm
Moderado	Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm
Fuerte	Fisuras con anchuras hasta de 6 mm
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm • Expulsión de material • Posible pandeo de refuerzo longitudinal.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Columnas Defectos Locales o Falta de Refuerzo Transversal

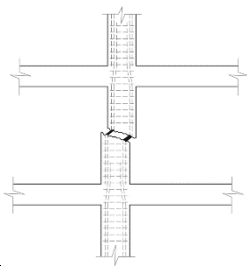
Tabla 15. Columnas defectos locales o falta de refuerzo transversal.

Daño	Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve 	Fisuras horizontales cercanas al nudo. No necesariamente alrededor de toda la sección.
Leve	Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm
Moderado	Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm
Fuerte	Fisuras con anchuras hasta de 6 mm
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm • Expulsión de material • Posible pandeo de refuerzo longitudinal.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Columnas

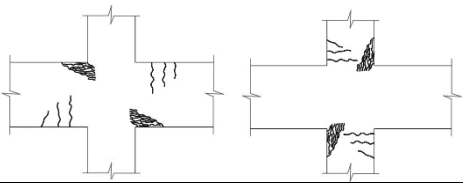
Tabla 16. Fisuras en el centro del tramo de columna.

Daño	Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve <small>FIGURA EN CENTRO DE TRAMO DE COLUMNA</small> 	Fisuras imperceptibles.
Leve	Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm
Moderado	Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm
Fuerte	Fisuras con anchuras hasta de 6 mm
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm • Expulsión de material • Posible pandeo de refuerzo longitudinal.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Vigas y Columnas Daños Cerca de los Nudos

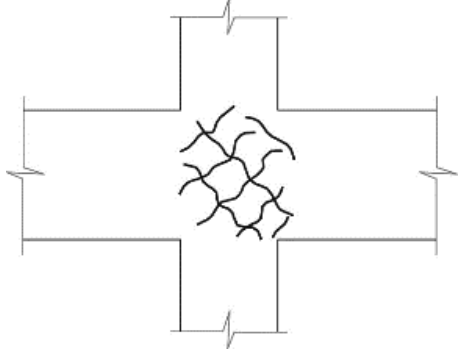
Tabla 17. Vigas y columnas daños cerca de los nudos.

Daño	Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna o fisuras imperceptibles. • Fisuras de flexión paralelas, en caras opuestas del nudo • Fisuración fina o delaminación del concreto en caras opuestas del nudo.
Leve	Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm
Moderado	Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm
Fuerte	Fisuras con anchuras hasta de 6 mm
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm • Expulsión de material • Posible pandeo de refuerzo longitudinal.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

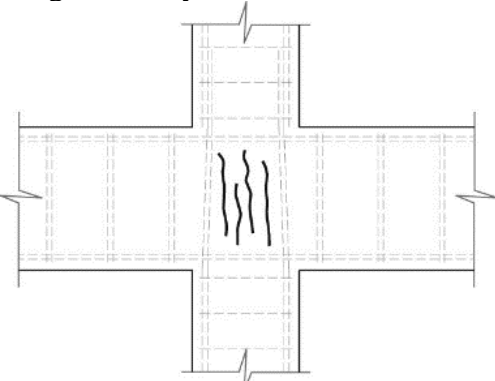
Nudos Daños por Cortante Debido a Falta de Refuerzo Transversal.

Tabla 18. Nudos daños por cortante debido a falta de refuerzo transversal.

Daño	Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna o fisuras imperceptibles. • Fisuras de ancho variable, en ambas direcciones de las diagonales • del nudo.
Leve	Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm
Moderado	Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm
Fuerte	Fisuras con anchuras hasta de 6 mm
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm • Expulsión de material

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

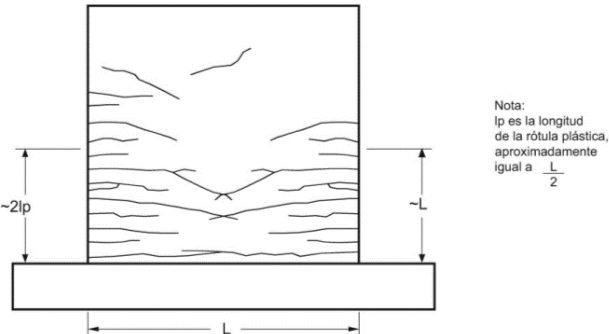
Nudos Falta de Refuerzo Transversal o Baja Resistencia del Concreto

Daño	Descripción del Daño
<p>Ninguno / Muy leve</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguna o fisuras imperceptibles. • Una o varias paralelas • Dirección paralela al eje de la columna.
<p>Leve</p>	<p>Fisuras con anchuras entre 0.2 mm y 1 mm</p>
<p>Moderado</p>	<p>Fisuras con anchuras entre 1 mm y 2 mm</p>
<p>Fuerte</p>	<p>Fisuras con anchuras hasta de 6 mm</p>
<p>Severo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras con anchuras mayores que 6 mm • Expulsión de material

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Muros

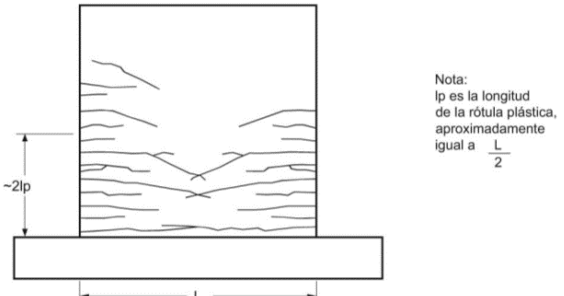
Tabla 19. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión dúctil (1AC).

Daño	Descripción del Daño
<p>Ninguno /Muy leve</p> 	<p>Ninguna fisura >4mm y Ninguna fisura de corte >3mm. Sin descascaramiento ni fisuras verticales.</p>
<p>Leve</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras <6mm y Fisuras de corte <3mm y no hay descascaramiento no fisuras verticales no hay pandeo de refuerzo ni refuerzo fracturado
<p>Moderado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Descascaramiento o fisuras verticales, aparecen en la parte inferior del muro, en el recubrimiento del concreto.

	<ul style="list-style-type: none"> No hay pandeo de refuerzo ni refuerzo fracturado y no hay desplazamiento residual significativo
Fuerte	No se usa.
Severo	<ul style="list-style-type: none"> Refuerzo fracturado. Indicaciones típicas Fisura de flexión ancha concentrada en una sola fisura. Grandes desplazamientos residuales.

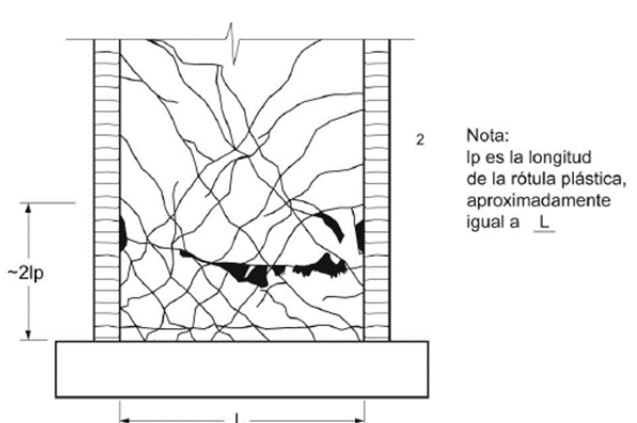
Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 20. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con tracción diagonal (1BC)

Daño		Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve	 <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras de corte < 1.5mm, y fisuras de flexión < 5mm. No hay descascaramiento ni fisuras verticales.
Moderado		<ul style="list-style-type: none"> Fisuras de corte < 3mm y Fisuras de flexión < 6mm, y Fisuras de corte > 1.5mm o descascaramiento parcial, en el alma o los bordes del muro. No hay refuerzo pandeado o fracturado. No hay desplazamiento residual significativo
Fuerte		Fisuras de corte entre 3mm y 6mm
Severo		<ul style="list-style-type: none"> Refuerzo fracturado. Indicaciones típicas. Fisura de corte anchas, concentrados en una sola grieta.

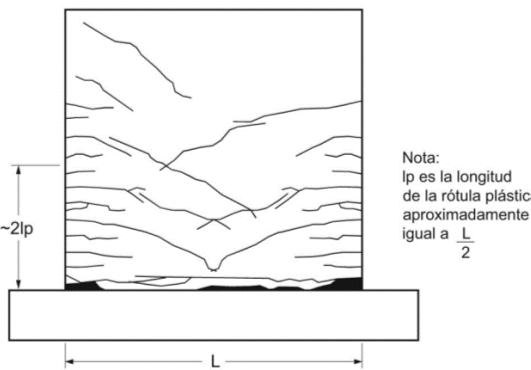
Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 21. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con aplastamiento del alma (ICC)

Daño		Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve	 <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$.</p>	Similar al caso anterior.
Leve		<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras de corte < 3mm, fisuras de flexión < 6mm, y descascamiento parcial en bordes o fisuras de corte > 1.5mm. • No hay refuerzo pandeado o fracturado. • No hay desplazamiento residual significativo
Fuerte		Descascamiento significativo, y no hay refuerzo fracturado.
Severo		<ul style="list-style-type: none"> • Gran descascamiento y vacíos en el alma. • Desplazamiento residual importante.

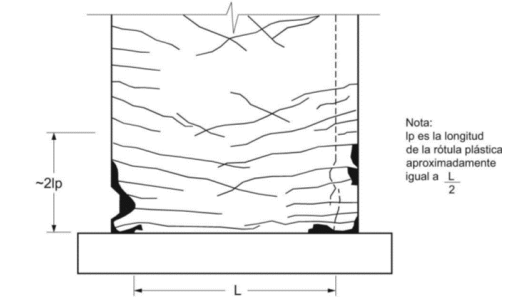
Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 22. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con aplastamiento del alma (1CD)

Daño	Descripción del Daño
<p>Ninguno / Muy leve</p> <p>* Fisuras <9mm</p>  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>	<p>Similar al 1AC</p>
<p>Leve</p>	<p>Similar al 1AC</p>
<p>Moderado</p>	<p>No se usa.</p>
<p>Fuerte</p>	<p>Desarrollo de una importante grieta horizontal a lo largo del todo el muro, con alguna degradación del concreto en la grieta, que indica que ha ocurrido un deslizamiento. Es posible también que haya deslizamiento lateral.</p>
<p>Severo</p>	<p>Significativo movimiento lateral, fuera del plano de la superficie de deslizamiento.</p>

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

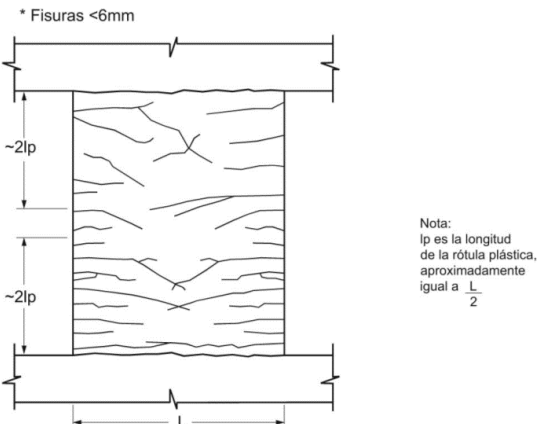
Tabla 23. Muro aislado o pila fuerte - Comportamiento de flexión con compresión de borde (1EC)

Daño	Descripción del Daño
<p>Ninguno / Muy leve</p> <p>* Fisuras <9mm</p>  <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>	<p>Similar al 1AC</p>

Leve	Similar al 1AC
Moderado	Similar al 1AC
Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> • Descascaramiento o fisuras verticales en bordes de zona plástica. • Refuerzo vertical de borde se pandea, o se daña severamente el concreto en el borde, pero no solo el recubrimiento.
Severo	Similar a 1AC

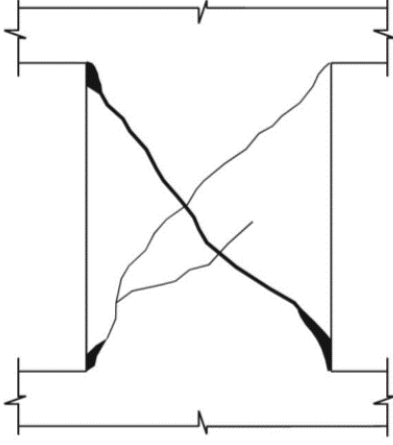
Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 24. Muro aislado o pila débil - Comportamiento de flexión dúctil (2AC)

Daño		Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve	 <p>* Fisuras <6mm</p> <p>Nota: lp es la longitud de la rótula plástica, aproximadamente igual a $\frac{L}{2}$</p>	Similar al 1AC
Leve		Similar al 1AC
Moderado		<ul style="list-style-type: none"> • Descascaramiento o fisuras verticales en los bordes de la zona plástica solo en el recubrimiento. • No hay refuerzo pandeado o fisurado. • No hay desplazamiento residual significativo
Fuerte		No se usa.
Severo		Similar a 1AC

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 25. Muro aislado o pila débil - Comportamiento de incipiente tracción diagonal (2BC)

Daño	Descripción del Daño
Ninguno / Muy leve	No hay fisuras de corte, y fisuras de flexión <3mm
	
Leve	No se usa.
Moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras <3mm • No hay fisuras verticales ni descascaramiento.
Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> • Fisuras de corte entre 3mm y 9mm • Las fisuras se concentran en una o varias grietas.
Severo	<ul style="list-style-type: none"> • Refuerzo fracturado • Fisuras anchas de corte usualmente concentradas en una sola grieta

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

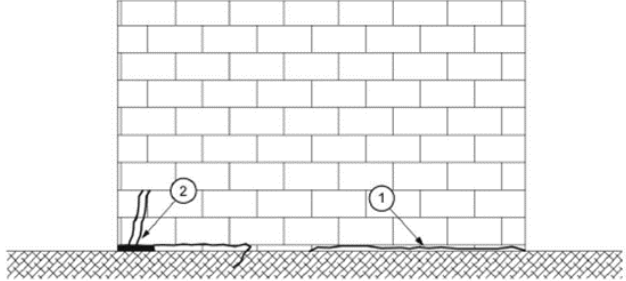
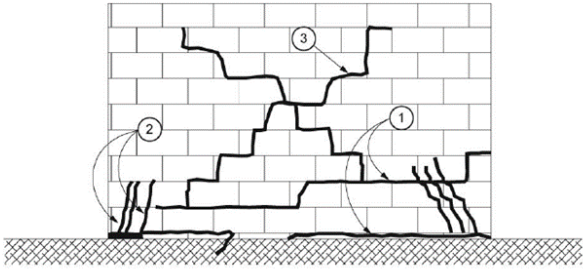
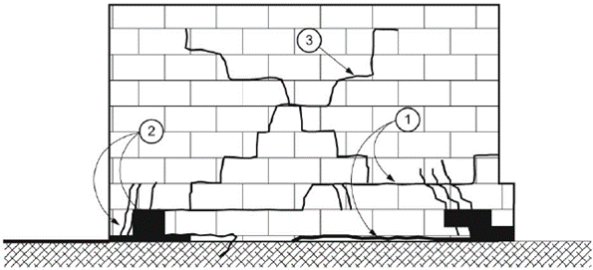
Catálogo de Patologías en muros no Estructurales en Mampostería

Este tipo de edificación es común en nuestro medio en edificaciones anteriores a los códigos o simplemente construidas sin ninguna consideración durante la vigencia de las normas sismorresistentes.

Deslizamiento de Junta

Tabla 26. Deslizamiento de Junta

Daño	Descripción del Daño
Ninguno/ muy leve	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras horizontales delgadas en borde a tracción. 2. Posible fisuración diagonal y descascaramiento menor en borde a compresión. Apariencia típica:

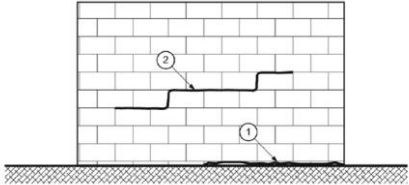
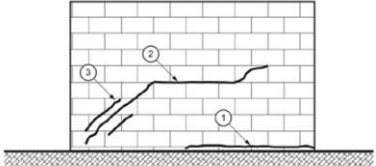
Daño	Descripción del Daño
	
<p>Moderado:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras horizontales, motero descascarado en las juntas de la base del muro indicando que ha ocurrido un corrimiento en el plano de hasta aproximadamente 6mm. 2. Posible fisuración diagonal y descascaramiento en el borde a compresión. Las fisuras se extienden hacia arriba varias hiladas. 3. Posible fisuración diagonal en partes superiores del muro, inclusive en las unidades de mampostería. <p>Apariencia típica:</p> 
<p>Fuerte</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Grietas en las juntas horizontales cerca de la base del muro similar al moderado, pero con ancho de hasta 12mm. 2. Posible fisuración diagonal y descascaramiento en el borde a compresión. Las fisuras se extienden hacia arriba varias hiladas. 3. Igual que moderado, pero con fisuras hasta de 12mm. <p>Apariencia típica:</p> 

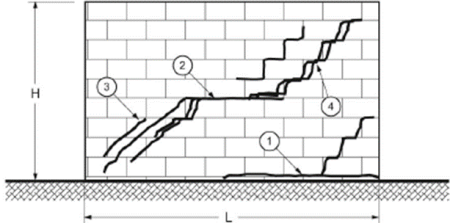
Daño	Descripción del Daño
Severo	<ol style="list-style-type: none"> 1. La fisuración en escalera es muy pronunciada. Las unidades se deslizan de su apoyo inferior. 2. Borde inferior comienza a desintegrarse. 3. El desplazamiento residual es tan grande, que las unidades de borde están por caerse.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Fisura por Flexión o por Aplastamiento del Borde Inferior

Tabla 27. Fisura por flexión o por aplastamiento del borde inferior

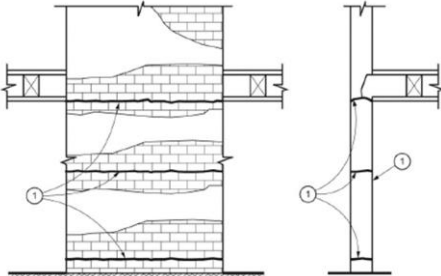
Daño	Descripción del Daño.
Ninguno/ muy leve	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras horizontales en juntas de pega en el borde inferior del muro. 2. Fisuras horizontales en 1 a 3 grietas en la parte central del muro, no ha habido corrimiento a lo largo de la grieta. 3. No hay fisuras en unidades. <p>Apariencia típica:</p> 
Leve	No se usa
Moderado:	No se usa
Fuerte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras horizontales en la junta de pega en el extremo inferior del muro. 2. Fisuras horizontales en 1 a 3 grietas en la parte central del muro. Con un posible corrimiento a lo largo de la grieta. 3. Fisuración diagonal en el borde inferior del muro, posiblemente a través de las unidades, con algo de descascaramiento. <p>Apariencia típica:</p> 
Severo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras horizontales en junta de pega en el borde inferior del muro. 2. Fisuras horizontales en parte central de muro, con corrimiento a lo largo de la grieta. 3. Fisuración diagonal en el borde inferior del muro, posiblemente a través de las unidades, con algo de descascaramiento.

Daño	Descripción del Daño.
	<p>4. Grandes fisuras en parte superior, diagonales para muros con $L/H > 1.5$, para dimensiones menores.</p> 

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Muro de Mampostería no Reforzada

Tabla 28. Muro solido - Comportamiento por flexión fuera del plano.

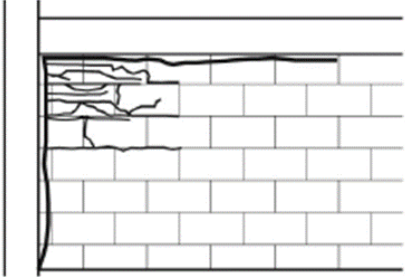
Daño	Descripción del Daño
Ninguno/ muy leve	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras horizontales a nivel superior, inferior y en el nivel medio de cada nivel del muro entre pisos. 2. No hay corrimiento fuera del plano o descascaramiento del mortero de pega a lo largo de las fisuras. 
Leve	No se usa
Moderado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras a nivel superior e inferior (techo y piso) de cada nivel, y en la mitad de la altura puede haber descascaramiento de la junta de pega y posiblemente: 2. Corrimiento fuera del plano de hasta 3mm.
Fuerte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fisuras a nivel superior e inferior (techo y piso) de cada nivel, y en la mitad de la altura puede haber descascaramiento de la junta de pega. 2. Descascaramiento y redondeo de bordes de unidades a lo largo del plano de fisuras. 3. Corrimiento fuera del plano a lo largo de las fisuras de hasta 12mm

Daño	Descripción del Daño
Severo	Capacidad de carga disminuida.

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

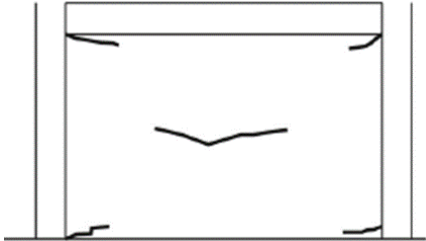
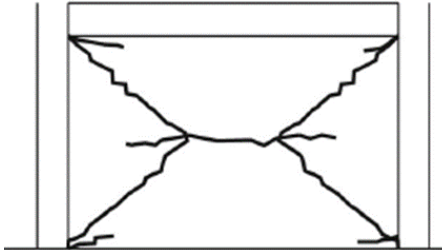
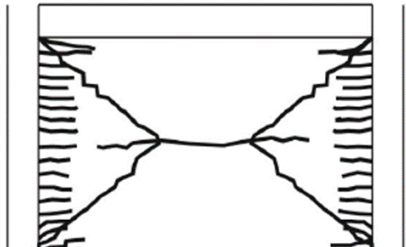
Tabla 29. Muro diafragma - Comportamiento de aplastamiento de esquina.

Daño	Descripción del Daño
Ninguno/ muy leve	Separación del mortero alrededor del perímetro del muro de relleno. Algún aplastamiento del mortero cerca de las esquinas Apariencia típica:
Moderado	Aplastamiento del mortero, fisuración de unidades, incluyendo movimiento lateral de las caras de las unidades. Apariencia típica:
Fuerte	1. Pérdida de unidades de esquina por descascaramiento completo de caras de unidades. 2. Fisuración diagonal en escalera y/o deslizamiento de juntas. Apariencia típica:

Daño	Descripción del Daño
	

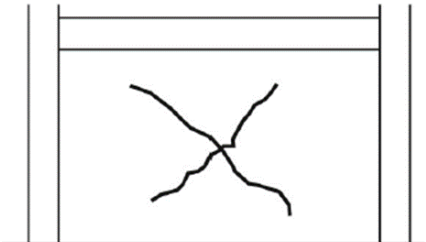
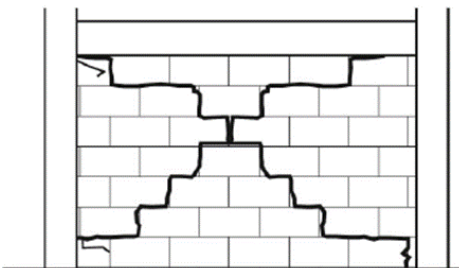

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 30. Muro diafragma - Deslizamiento de juntas.

Daño	Descripción del Daño
Ninguno/ muy leve	Aplastamiento del mortero alrededor del perímetro del pórtico, cerca de las esquinas. Apariencia típica: 
Moderado	Aplastamiento del mortero y fisuración de unidades en zonas más amplias, adyacentes a las vigas y columnas. Apariencia típica: 
Fuerte	Significativo aplastamiento del mortero y de unidades que se extiende alrededor de casi todo el perímetro del pórtico, con mayor importancia a lo largo de la altura de las columnas. Apariencia típica: 

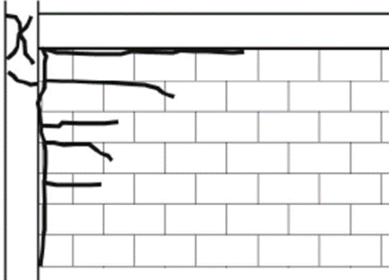
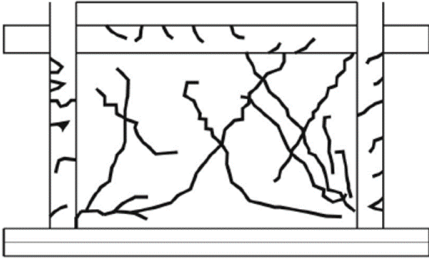
Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 31. Muro diafragma - Tracción diagonal.

Daño	Descripción Del Daño
Ninguno/ muy leve	<p>1. Fisuración en las diagonales de la mampostería, especialmente asociada con rotura de la adherencia entre mortero y unidades.</p> <p>2. Fisuración concentrada en el centro del muro.</p> <p>Apariencia típica:</p> 
Moderado	<p>1. Fisuración en escalera a todo lo largo de las diagonales,</p> <p>2. Puede observarse algún aplastamiento del mortero. Las fisuras no se abren por el confinamiento que ejerce el pórtico.</p> <p>Apariencia típica:</p> 
Fuerte	<p>1. Las fisuras se anchan hasta uno 3mm, asociadas más que todo al aplastamiento en las esquinas. Es evidente mucha pérdida de mortero generalmente aparece más de una fisura.</p> <p>2. Porciones enteras de muro pueden correrse lateralmente.</p> <p>Apariencia típica:</p> 

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

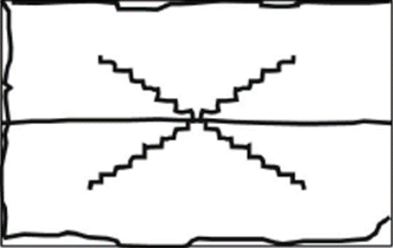
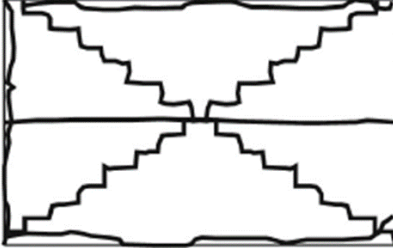
Tabla 32. Muro diafragma - Aplastamiento de esquinas y fisuración diagonal

DAÑO	DESCRIPCION DEL DAÑO
Ninguno/ muy leve	Separación del mortero a lo largo de la viga. Alguna fisuración en juntas de pega.
Moderado	<p>Para un pórtico dúctil con viga fuerte-columna débil, fluye primero la viga, Se rompen las unidades de las esquinas por compresión y pueden aparecer fisuras diagonales en los nudos.</p> <p>Apariencia típica:</p> 
Fuerte	<p>Abundante fisuración de vigas y columnas. Fisuración diagonal que atraviesa las unidades. Descascaramiento de caras de unidades en las esquinas.</p> <p>Apariencia típica:</p> 

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)

Tabla 33. Muro diafragma - Comportamiento fuera del plano.

Daño	Descripción Del Daño
Ninguno/ muy leve	Fisuras alrededor del perímetro y levemente en la mitad de la altura.
Moderado	<p>Aplastamiento y pérdida de mortero alrededor del perímetro y en la mitad de la altura. Posibles leves fisuras diagonales en el centro del muro.</p> <p>Apariencia típica:</p>

	
<p>Fuerte</p>	<p>Severa fisuración a lo largo de todo el perímetro, las diagonales y la mitad del muro, unidades en las esquinas. Apariencia típica:</p> 

Fuente. (Farbiarz et al., 2011)