	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15
			VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN		FECHA	03/04/2017
			PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S): JHAN PIERO APELLIDOS: ROJAS SUAREZ

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: _____

DIRECTOR:

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

NOMBRE(S): _____ APELLIDOS: _____

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): PATOLOGÍAS EN CONSTRUCCIONES CIVILES

En este trabajo se darán a conocer las definiciones y conceptos generales que hacen parte del estudio de los problemas técnicos, como lesiones y fallas, que se presentan en la construcción. Para el desarrollo del siguiente documento, se tomarán en cuenta ciertos casos específicos de estudio con el cual se expliquen los diferentes tipos de daños que se presentan en las construcciones presentando lineamientos para identificar los daños y como clasificarlos para su posterior análisis. Para llevar a cabo lo anteriormente descrito se mostrará un desarrollo tipológico de fallos y lesiones, y posteriormente adentrarse en los conceptos que involucran cada uno de los procesos de estudio, diagnóstico e intervención de los elementos y materiales de construcción, para lo cual se explicarán las normativas y reglamentos a nivel nacional que se relacionan con el análisis y estudio de patologías.

PALABRAS CLAVES: PATOLOGÍAS, OBRAS CIVILES, CONSTRUCCIÓN, FALLAS.

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 96 PLANOS: ____ ILUSTRACIONES: ____ CD ROOM: ____

PATOLOGÍAS EN CONSTRUCCIONES CIVILES

JHAN PIERO ROJAS SUÁREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES CIVILES, VÍAS, TRANSPORTE,

HIDRÁULICA Y FLUIDOS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

PATOLOGÍAS EN CONSTRUCCIONES CIVILES

JHAN PIERO ROJAS SUÁREZ

Proyecto presentado para cambio de categoría a docente ASOCIADO.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES CIVILES, VÍAS, TRANSPORTE,

HIDRÁULICA Y FLUIDOS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2020

21000-01.15 5673

Cúcuta, 21 de octubre de 2020

Docente
ROJAS SUAREZ JHAN PIERO
jhanpiero Rojas@ufps.edu.co

ASUNTO: Respuesta

El CIARP, mediante sesión remota Ordinaria por TIC del 20 de octubre de 2020, según consta Acta 05, dio lectura a su oficio del 2 de marzo del 2020 con radicado UGAD 2139 donde solicitó cambio a Profesor Asociado y a las evaluaciones obtenidas por el jurado evaluador para su Trabajo Patologías en construcciones civiles.

El comité verifica que cumple con lo dispuesto en el Acuerdo 093 de 1996, Artículo 28 en sus literales b y c, faltando cumplir el literal "a". Deberá reiterar oportunamente el cumplimiento del literal en mención, para continuar con el trámite ante el Consejo Académico. Así mismo se solicita, hacer entrega de un ejemplar del documento en la División de Biblioteca de la Universidad y allegar copia del recibido por dicha división.

De conformidad con lo previsto en el Artículo 53 del Acuerdo 063 de 2002, contra la presente decisión, podrá presentar las objeciones que considere pertinentes, dentro de los cinco (5) días hábiles siguientes al recibo de esta información.

Sin otro particular,


OLGA MARINA VEGA ANGARITA
Presidenta


VICTOR JHOEL BUSTOS URBANO
Secretario

Proyecto: Isabel G

Tabla de contenido

1.	Generalidades	8
1.1.	Introducción	8
1.2.	Patología constructiva	8
1.3.	Proceso patológico	9
1.4.	Lesiones	9
1.5.	Causas	10
1.6.	Reparación, Restauración y Rehabilitación	10
2.	Catálogo de patologías constructivas	12
2.1.	Introducción	12
2.2.	Manifestaciones de la exposición ambiental	13
2.2.1.	Corrosión en elementos estructurales	13
2.2.2.	Ciclos de humedad, reacción álcali-sílice, ataque de sulfatos	15
2.2.3.	Cambios de volumen por variaciones en la humedad y temperatura	17
2.3.	Manifestaciones físico-mecánicas	23
2.3.1.	Asentamientos diferenciales entre apoyos	24
2.3.2.	Deformaciones bajo carga estática	27
3.	Causas de alteración a la durabilidad de los materiales	33
3.1.	Introducción	33
3.2.	Causas directas	33

3.2.1.	Causas Mecánicas	33
3.2.2.	Causas Físicas	39
3.2.3.	Causas Químicas	44
4.	Procedimiento para la evaluación de estructuras existentes	47
4.1.	Introducción	47
4.2.	Procedimiento de evaluación estructural	47
4.2.1.	Información Preliminar	47
4.2.2.	Evaluación de la Estructura Existente	48
4.2.3.	Intervención del Sistema Estructural	49
4.3.	Análisis de vulnerabilidad	49
5.	Casos de estudio	51
5.1.	Introducción	51
5.2.	Caso de estudio 1: Colapso de estructura metálica	52
5.3.	Caso de estudio 2: Vulnerabilidad en vivienda de muros industrializados	59
5.4.	Caso de estudio 3: Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI, Cormoranes	68
5.4.1.	Geología de la zona	69
5.4.2.	Reconocimiento geotécnico	72
5.4.3.	Revisión del diseño estructural	75
5.4.4.	Patologías encontradas en la estructura	78

5.5.	Caso de estudio 4: Vulnerabilidad sísmica de un hogar infantil	84
5.5.1.	Exploración de la estructura existente	85
5.5.2.	Calificación del estado actual del sistema estructural	87
5.5.3.	Determinación de las solicitaciones (Cargas)	90
5.5.4.	Criterios para el Análisis y Diseño de la Estructura	91
	Referencias bibliográficas	94

1. Generalidades

1.1. Introducción

En este capítulo se darán a conocer las definiciones y conceptos generales que hacen parte del estudio de los problemas técnicos, como lesiones y fallas, que se presentan en la construcción.

Para el desarrollo del siguiente documento, se tomarán en cuenta ciertos casos específicos de estudio con el cual se expliquen los diferentes tipos de daños que se presentan en las construcciones presentando lineamientos para identificar los daños y como clasificarlos para su posterior análisis.

Para llevar a cabo lo anteriormente descrito se mostrará un desarrollo tipológico de fallos y lesiones, y posteriormente adentrarse en los conceptos que involucran cada uno de los procesos de estudio, diagnóstico e intervención de los elementos y materiales de construcción, para lo cual se explicarán las normativas y reglamentos a nivel nacional que se relacionan con el análisis y estudio de patologías.

1.2. Patología constructiva

Se puede definir a la patología constructiva como los problemas técnicos que aparecen en las edificaciones, o en algunos de sus elementos, después de su construcción, en otras palabras, la patología es la ciencia que estudia los problemas y lesiones constructivas, sus procesos, causas y sus posibles soluciones. (Monjo Carrio, 1997).

Por lo anterior, es necesario considerar la patología preventiva la cual consiste en considerar la funcionalidad constructiva de los elementos y unidades que componen un edificio, su durabilidad e integridad. Esto implicará una serie de medidas de diseño constructivo, de selección de material, mantenimiento y uso, así como una definición previa

de las distintas actuaciones posibles (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006).

1.3. Proceso patológico

Para afrontar un problema constructivo se debe conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado. Los aspectos anteriormente mencionados conforman el conjunto del proceso patológico (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006).

Dentro del proceso patológico se distinguen tres partes diferenciadas: el origen, la evolución y el resultado final, las cuales están presentadas en orden cronológico, sin embargo, para el estudio del proceso patológico es conveniente analizar esta secuencia de modo inverso, es decir, empezar con la identificación del resultado de la lesión, luego el síntoma, y siguiendo la evolución de la misma, llegar a su origen, es decir, a la causa. (Monjo Carrio, 1997) (Casas, 2004).

Con el proceso patológico es posible establecer la estrategia de la reparación como la hipótesis de la prevención.

1.4. Lesiones

Se define como lesiones a cada una de las manifestaciones debido a problemas constructivos, es decir, que las lesiones son el síntoma final de un proceso patológico. (Calavera Ruiz, 1990)

Conocer la tipología de las lesiones es de vital importancia, ya que es el punto de partida de todo estudio patológico y de su identificación depende la elección del tratamiento más adecuado (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006).

En algunos casos las lesiones dan origen a otras, y por lo general no suelen aparecer aisladas, sino que estas están combinadas entre sí. Por lo cual se hace conveniente realizar

una distinción y aislar las distintas lesiones (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006).

Teniendo en cuenta lo anterior, las lesiones que surgen primero se les denominan “lesión primaria”, mientras que las lesiones que surgen a partir o como consecuencia de las lesiones primarias se les denomina “lesiones secundarias”.

El conjunto de lesiones que pueden aparecer en una edificación es muy extenso debido a la diversidad de materiales y unidades constructivas que se suelen utilizar. Sin embargo, las lesiones se pueden dividir en tres grupos según el carácter y la tipología del proceso patológico: físicas, mecánicas y químicas. (Monjo Carrio, 1997)

1.5. Causas

En primer lugar, se debe determinar que origina el proceso patológico, si la lesión es la que origina el proceso patológico, la causa es el primer objeto de estudio, ya que este es el verdadero origen de la lesión. Un proceso patológico no será resuelto a menos que sea anulada la causa de la patología, es decir que, si una lesión se repara sin tener en cuenta la causa, es probable que la patología aparezca de nuevo. (Carbonell de Masy, 1996)

Una lesión puede tener una o varias causas por lo que es imprescindible su identificación y un estudio tipológico. Las causas pueden ser directas, es decir, aquellas que son el origen inmediato del proceso patológico, o pueden ser indirectas, es decir, cuando se trata de errores y defectos en el diseño y ejecución. Las causas indirectas son las que se deben tener en cuenta al momento de prevenir lesiones. (García-Rodríguez, 2002)

1.6. Reparación, Restauración y Rehabilitación

AL momento de dar una solución a un proceso patológico es necesario diferenciar entre una reparación, una restauración y una rehabilitación. A continuación, se define cada uno de ellos:

- La reparación es un conjunto de actuaciones como demoliciones, saneamiento y aplicaciones de nuevos materiales, destinado a reparar el estado constructivo y de volver la unidad lesionada su funcionalidad arquitectónica original (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006) (Helena, 2004)

La reparación se compone de dos fases diferenciadas: primero se debe actuar sobre la causa o causas origen del proceso, y después de solucionadas las causas se procede a actuar sobre las lesiones (Velasco, 2005).

- La restauración se centra en un elemento concreto o en un objeto de decoración. Este proceso entraña una gran dificultad para resultar coherente con el valor del edificio entendido como una entidad individual, tanto desde el aspecto arquitectónico, histórico y artístico, que permita la transmisión de sus valores a la posteridad (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006) (Helena, 2004)
- Por último, la rehabilitación comprende una serie de posibles fases: un proyecto arquitectónico para nuevos usos; un estudio patológico con diagnóstico parciales; reparaciones de las diferentes unidades constructivas dañadas, y una restauración de los distintos elementos y objetos individuales (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006) (Helena, 2004)

2. Catálogo de patologías constructivas

2.1. Introducción

En el presente capítulo se dará a conocer un catálogo de patologías con las principales lesiones causa-efecto por el cual se producen daños en las estructuras, mostrando una guía básica en el cual se puede basar el discernimiento sobre la identificación de daños constructivos.

En este documento primero se dará una síntesis de los daños más comunes debidos a exposición ambiental pasando a las acciones físico-mecánicas. El formato para la presentación de cada uno de estos grupos de manifestaciones patológicas es diferente, las cuales se clasifican en términos de características y causas.

Como se ilustra con el flujograma presentado a continuación, son muchas los posibles factores que generan patologías en materiales, elementos y estructuras. Además, diferentes mecanismos pueden dar origen a las mismas manifestaciones patológicas. Por lo que para efectos del presente documento solo se tomarán en cuenta las patologías más comunes en las estructuras.

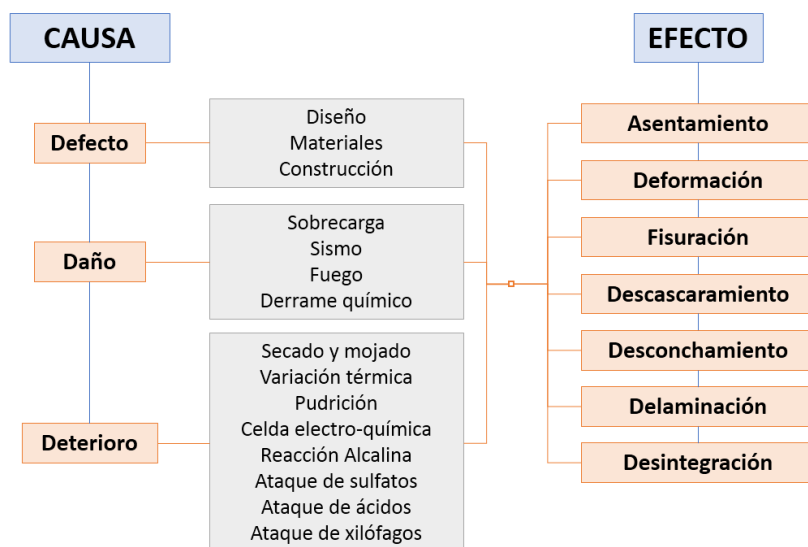


Figura 1. Causas y efectos de las principales manifestaciones patológicas estructurales.

Fuente: Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales, 2011)

2.2. Manifestaciones de la exposición ambiental

El medio ambiente puede agredir los materiales hasta causar manifestaciones patológicas, de acuerdo con la naturaleza de cada material. Los metales pueden sufrir corrosión por celda electroquímica que le causa desde descascaramiento hasta desintegración. Todos los materiales sufren cambios volumétricos con cambios en la humedad relativa del aire y con variaciones en la temperatura ambiente, que pueden eventualmente incidir en su integridad. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales, 2011)

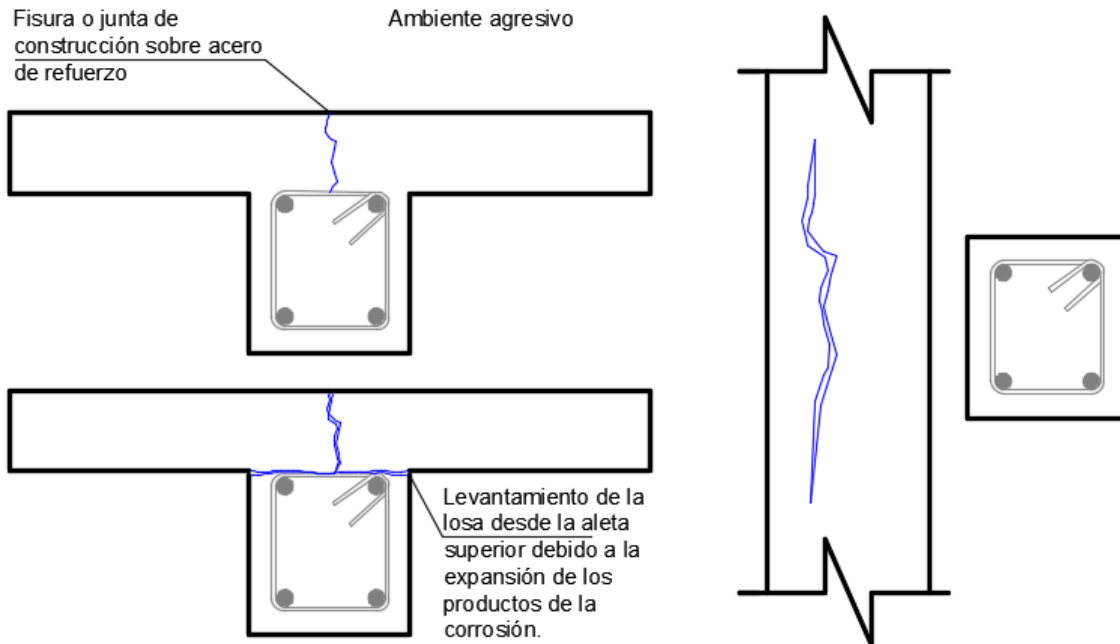
Muchas de las manifestaciones patológicas por exposición ambiental son agrietamientos superficiales en forma de tela de araña, descascaramientos, desconchamiento y desintegración. Los agrietamientos debidos a reacción alcalina están acompañados usualmente de exudación de un gel blancuzco de sílice (Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción, 2006).

2.2.1. Corrosión en elementos estructurales

La corrosión de los metales afecta la integridad de los elementos fabricados con estos materiales (acero estructural o elementos de concreto o mampostería reforzados). Los productos de la celda electroquímica tienen mayor volumen que los componentes originales, lo que genera las tensiones internas que terminan por desintegrar el metal. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales, 2011)

A continuación, se muestran algunas de las patologías que se presentan por la corrosión de los metales y del acero de refuerzo en elementos de concreto.

1) Fisuración de elemento estructural, por corrosión de acero de refuerzo



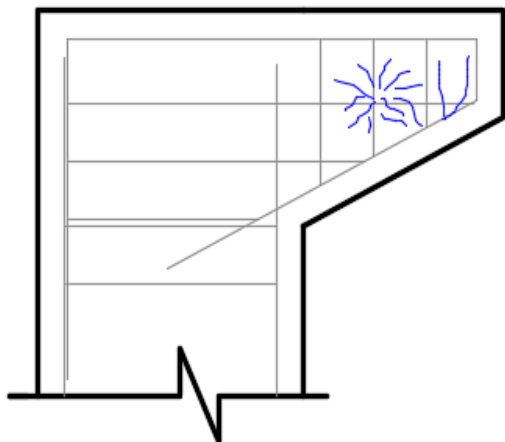
Características

- Fisuras superpuestas longitudinalmente a la armadura
- Aparecen preferentemente en barras de esquina
- El ancho evoluciona hasta valores muy altos (hasta 0.5/1mm)
- Usualmente aparecen entre dos y cinco años a partir del hormigonado

Causas

- La causa es la corrosión de la armadura, bien sea por escasez de recubrimiento, o por falta de capacidad de protección del concreto o carbonatación del mismo.
- La formación de óxido ejerce presión sobre el recubrimiento provocando su estallido.

2) Fisuración por corrosión de los aceros de refuerzo, armaduras



Características

- Fisuras variadas y dispersas en zonas de alta densidad de armaduras superficiales.
- El ancho evoluciona hasta valores muy altos (0.5/1mm)

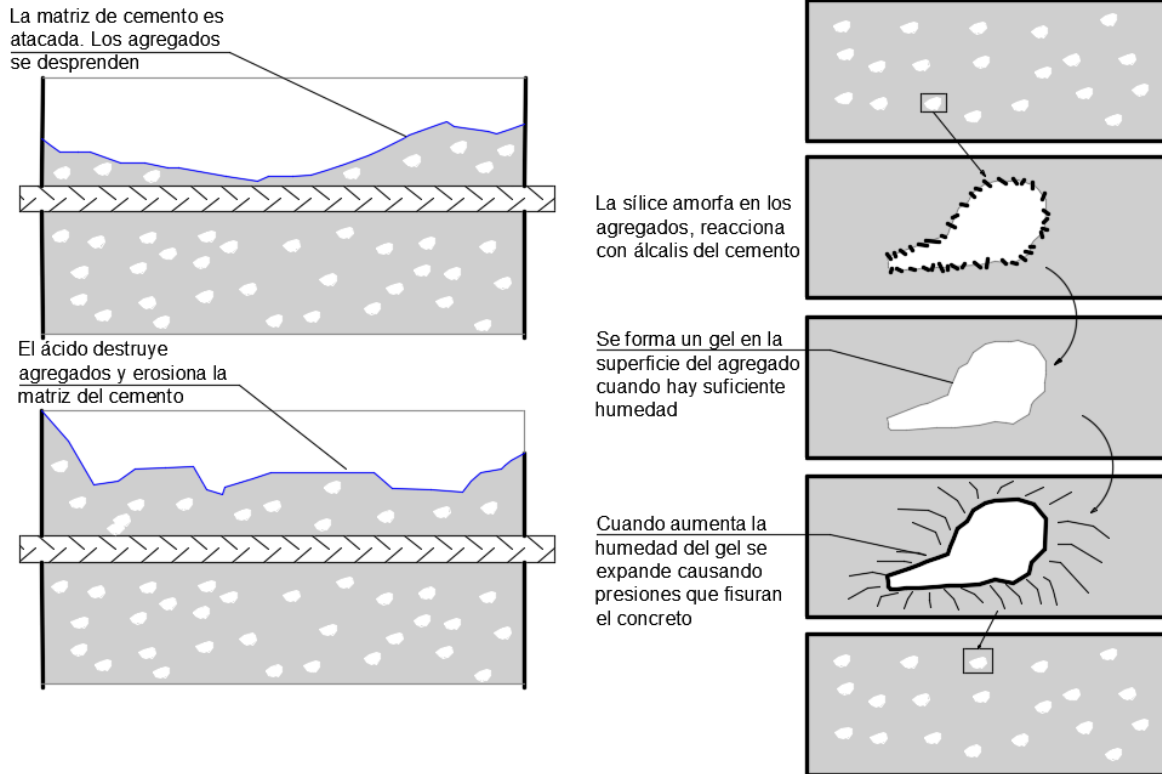
Causas

- La causa es la corrosión de la armadura, bien sea por escasez de recubrimiento, o por falta de capacidad de protección del concreto.
- La formación de óxido ejerce presión sobre el recubrimiento provocando su estallido

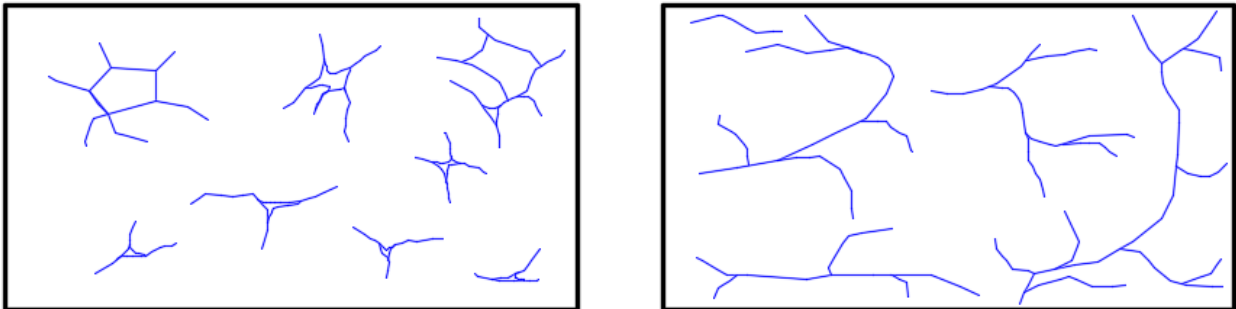
2.2.2. Ciclos de humedad, reacción álcali-sílice, ataque de sulfatos

El agua puede ser un agente reactivo y el medio de transporte para agentes agresivos. Los ciclos de mojado y secado, pueden ocasionar la erosión de los materiales frágiles con su desintegración. Asimismo, el agua puede ser parte de la reacción agresiva, como componente en la reacción entre álcalis en el cemento y ciertas formas de sílice amorfa en algunos agregados, o en el ataque de sulfatos de suelos a aguas subterráneas. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales, 2011)

1) Ataque de ácidos y relación álcali-agregados



2) Fisuras de ataque por sulfatos y fisuras de reacción álcali-áridos



Características

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

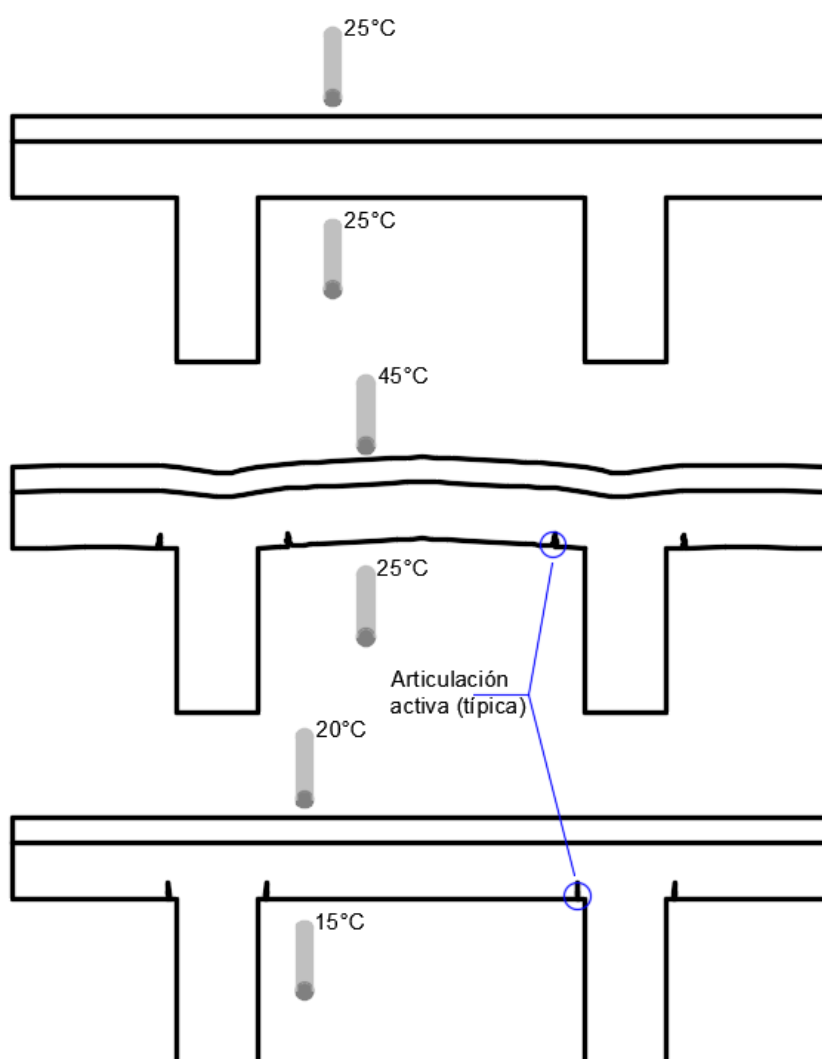
Causas

- Son debidas a la reacción del ion sulfato con algunos componentes del cemento (aluminatos, calcio, etc.)

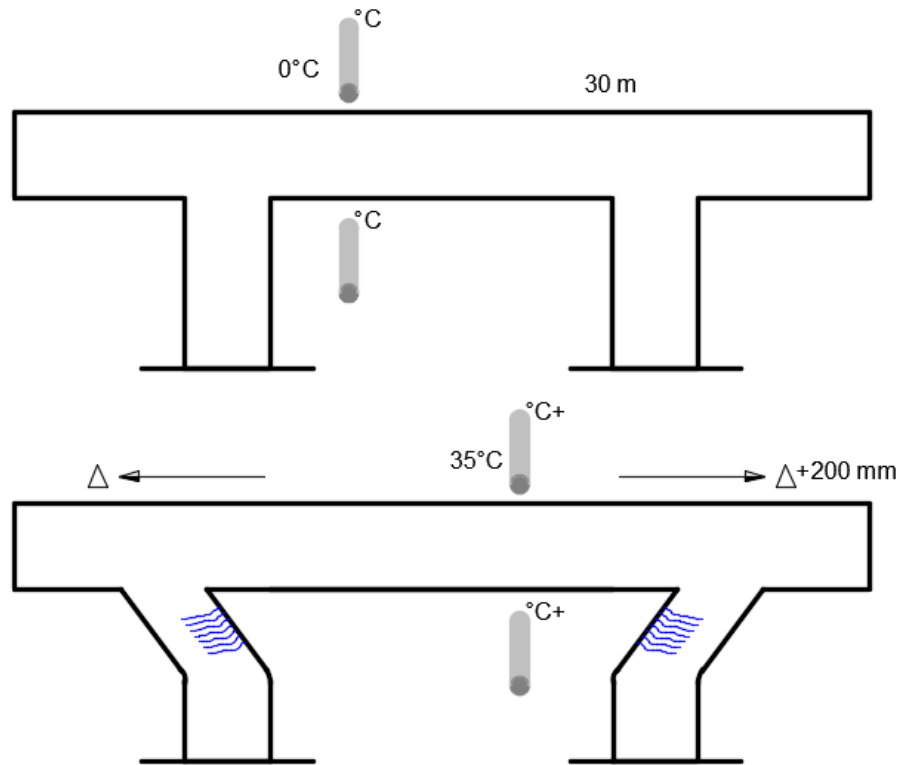
2.2.3. Cambios de volumen por variaciones en la humedad y temperatura

Todos los materiales cambian su volumen con cambios en la temperatura ambiental. Además, los materiales permeables también varían de volumen cuando se saturan con agua o cuando se secan. Estos cambios volumétricos pueden generar tensiones en el material que, a su vez, pueden fisurarlo. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales, 2011)

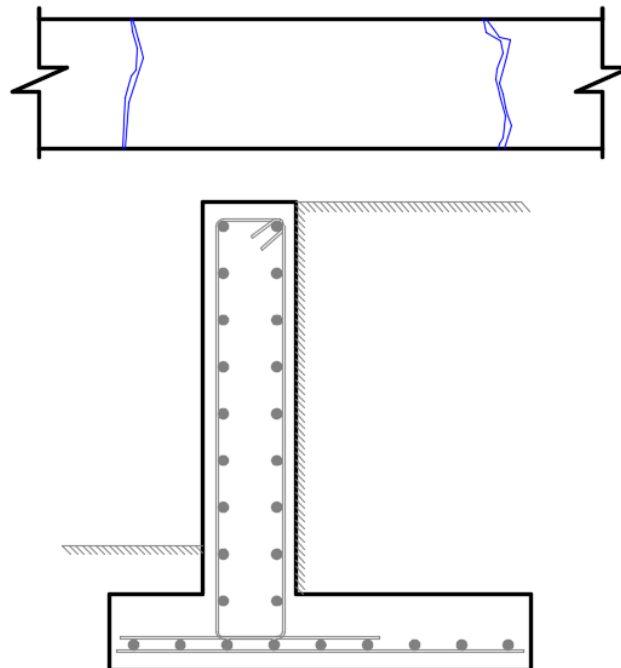
1) Deformación de elemento estructural por temperaturas desiguales



2) Cambios volumétricos por cambios de temperatura



3) Fisuración de muro por contracción térmica inicial



Características

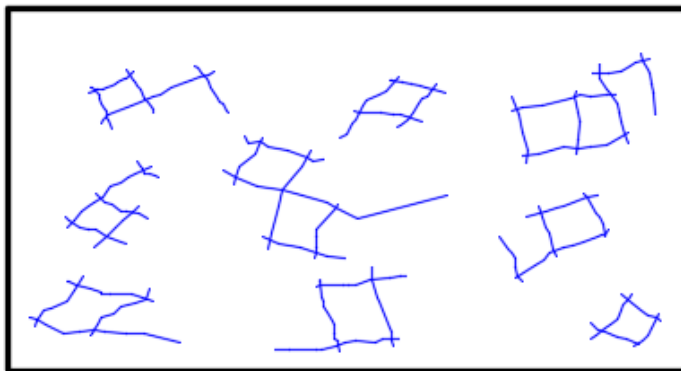
- Fisuras de ancho apreciable (0.15 a 0.3 mm)

- Aparecen generalmente entre un día y una semana a partir del vertido del concreto.

Causas

- Aparecen habitualmente en muros ejecutados sin juntas de contracción o sin suficiente armadura de retracción y temperatura.
- Enfriamiento demasiado rápido.
- Temperaturas altas (debidas a la lenta disipación del calor de hidratación), respecto a la temperatura ambiente. El acortamiento ésta impedido por coacciones externas, como el cimientto previamente hormigonado.
- Cemento inadecuado.

4) Fisuración de losa por retracción hidráulica



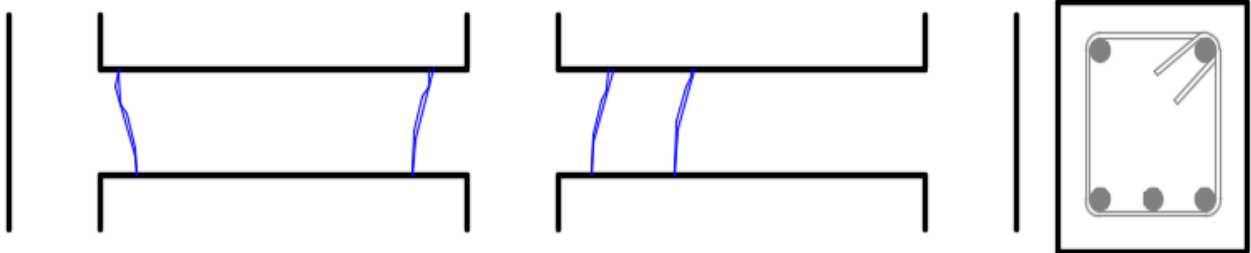
Características

- Fisuras de pequeño ancho (0.05 a 0.2mm)
- Aparición algunas semanas después del endurecimiento del concreto.
- Si no hay una orientación preferente por cuantía alta de armaduras su presencia es anárquica
- Una vez aparecida una fisura como AB las tensiones en esa dirección, en esa zona, quedan liberados y las de la dirección ortogonal tienen tendencia a producir otra perpendicular como CD. Por eso esta fisuración recuerda la piel de cocodrilo

Causas

- Exceso de finos en la arena
- Cuantías mínimas insuficientes
- Curado escaso

5) Fisuración en viga por retracción hidráulica



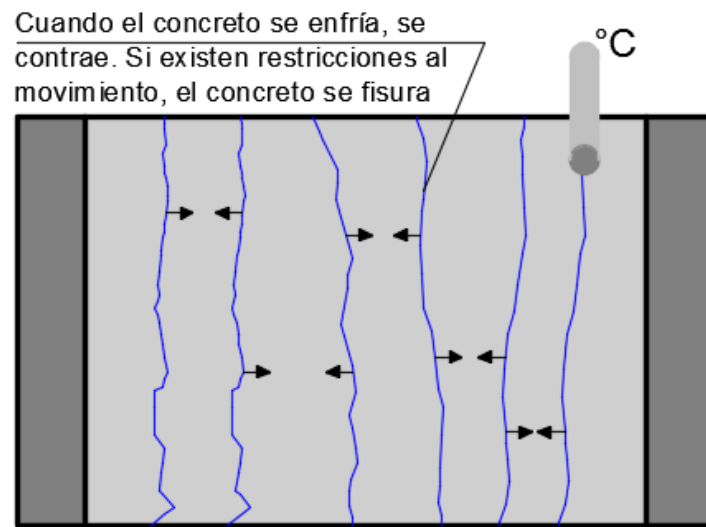
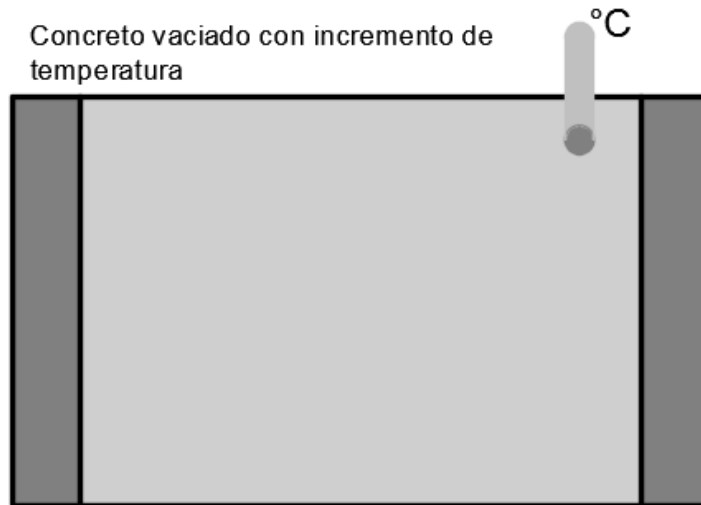
Características

- Fisuras de pequeño ancho (0.05 a 0.2mm)
- Aparición algunas semanas o meses después del endurecimiento del concreto
- Frecuentemente presenta distribución asistemática a lo largo de la luz
- Ancho de fisura uniforme en todo el canto.
- Las fisuras no se cierran en la cara comprimida de la viga (si hay entrepiso asociado, puede continuar por la cara inferior del mismo)
- Según los casos, la fisura corta o no la sección

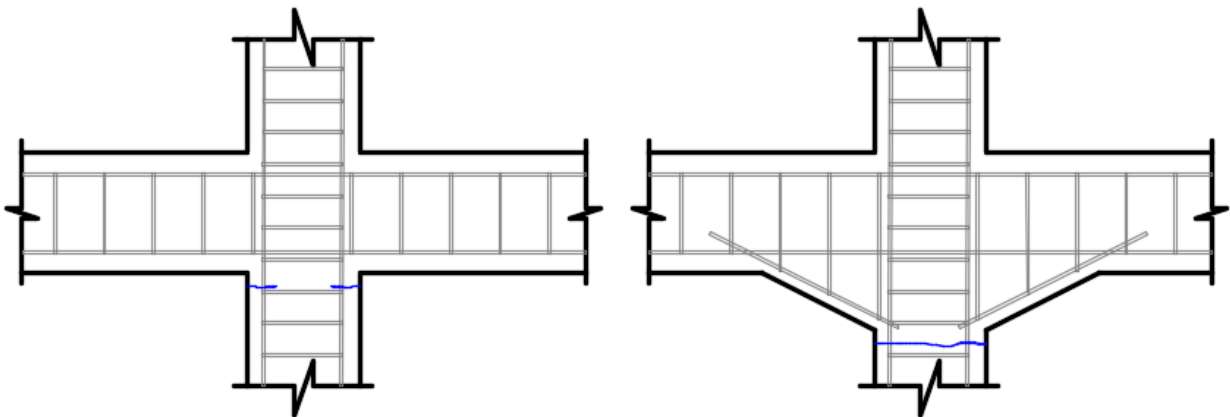
Causas

- Exceso de finos en la arena.
- Cuantías mínimas insuficientes.
- Curado escaso

6) Fisuración temprana del concreto fresco



7) Fisuración por asentamiento plástico en la cabeza de la columna



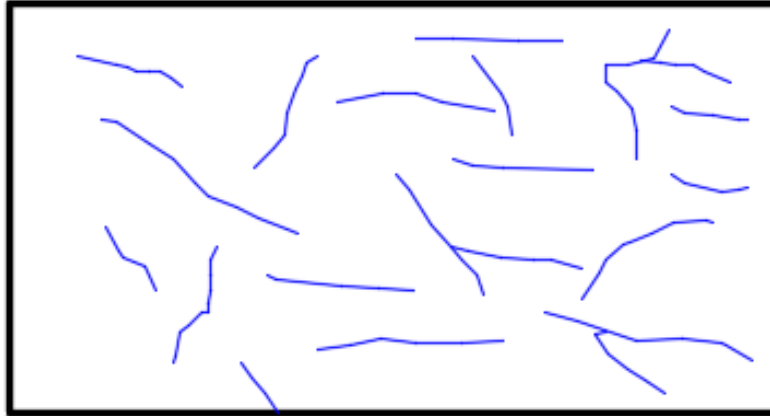
Características

- Fisuras que aparecen generalmente a un nivel ligeramente inferior al del estribo en la cabeza de la columna (AB es la junta de construcción)
- Fisuras del ancho apreciable (0.2 a 0.4mm) y generalmente de poca profundidad, aparecen antes de tres horas de vertido al concreto, pero no son observables debido al encofrado de la columna hasta que se procede al desencofrado
- Están motivadas por la coacción que los estribos producen al asiento plástico del concreto situado sobre ellos. El concreto del núcleo y el situado bajo el estribo descienden libremente.
- Se producen en la cabeza donde el concreto tienen una mayor relación A/C por el vibrado y no hay peso de concreto fresco encima en ese momento.

Causas

- Exceso de exudación
- Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento
- Exceso de relación A/C
- Exceso de finos en la arena
- Cemento inadecuado
- Empleo incorrecto de retardadores
- Armadura con poco recubrimiento.

8) Fisura de una losa por retracción plástica



Características

- Fisuras de ancho apreciables (0.2 a 0.4mm) y escasa profundidad.
- Aparición desde una a seis horas desde vertido el concreto.
- Con frecuencia las direcciones predominantes coinciden con la menor cuantía de armadura, dirección del viento durante la puesta en obra, variación de espesor, etc.

Causas

- Evaporación muy rápida del agua en la superficie
- Velocidad lenta de exudación
- Exceso de relación A/C
- Exceso de finos en la arena
- Cemento inadecuado
- Empleo incorrecto de retardadores
- Hormigonado con altas temperaturas ambientes o viento.
- Curado incorrecto

2.3. Manifestaciones físico-mecánicas

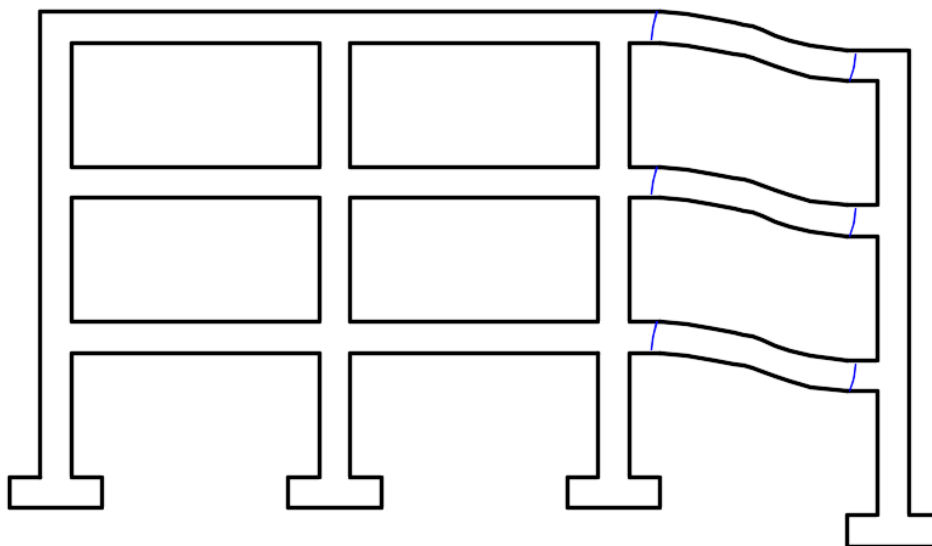
Diversas acciones mecánicas pueden resultar en manifestaciones patológicas estructurales (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Guía de Patologías Constructivas,

Estructurales y No Estructurales, 2011). A continuación, se muestran las manifestaciones de las principales acciones mecánicas sobre estructuras.

2.3.1. Asentamientos diferenciales entre apoyos

El suelo se deforma bajo cargas, de manera que todo apoyo es susceptible de sufrir asentamientos a medida que la edificación se va cargando completamente. Además, cambios en la humedad del suelo u otros muchos factores pueden ocasionar asentamientos diferenciales entre apoyos. Este movimiento relativo puede ocasionar daños importantes en los elementos estructurales y no estructurales de una edificación.

1) Fisuración por asentamiento de columna de fachada



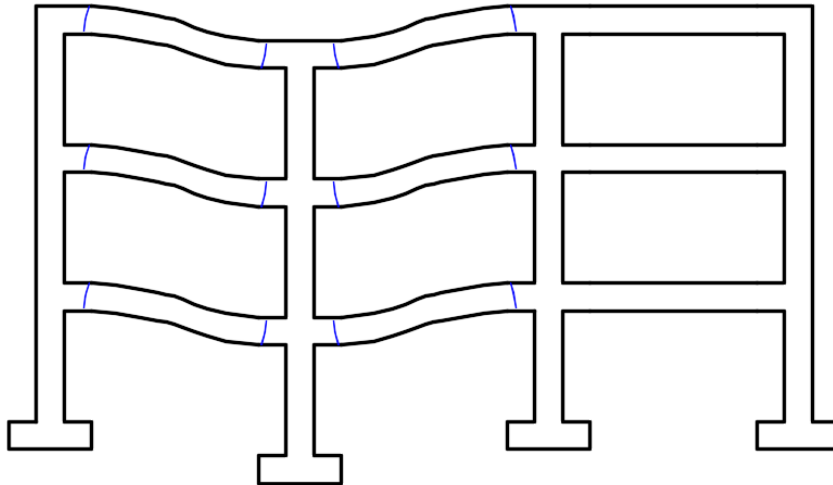
Características

- Fisuras de ancho variable
- Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- La fisura aparece en cara inferior de viga junto a la columna que se asienta en la cara superior junto a la columna inmediata

Causas

- Asiento de la columna de esquina

2) Fisuración por asentamiento de columna intermedia



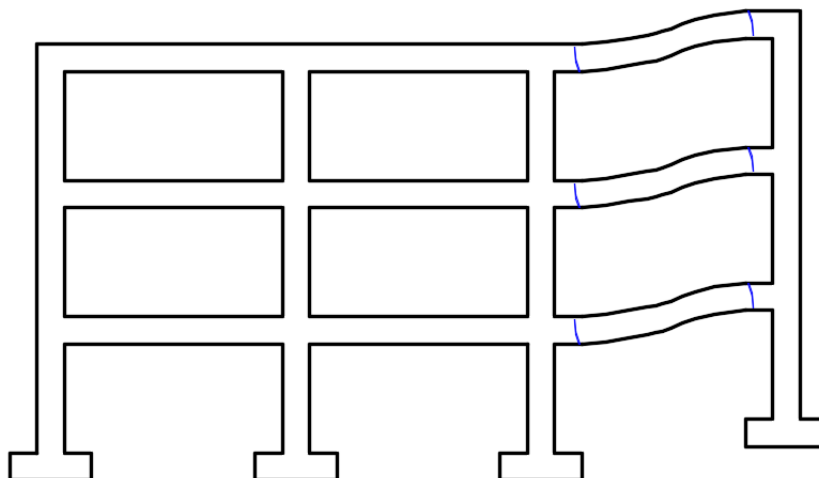
Características

- Fisuras de ancho variable
- Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- La fisura aparece en cara inferior junto a la columna que se asienta, en las dos vigas que se apoyan en ella, y en cara superior en los extremos opuestos de dichas vigas
- La longitud de fisuras se reduce hacia las plantas superiores

Causas

- Asiento de la columna intermedia

3) Fisuración por ascenso de columna de fachada



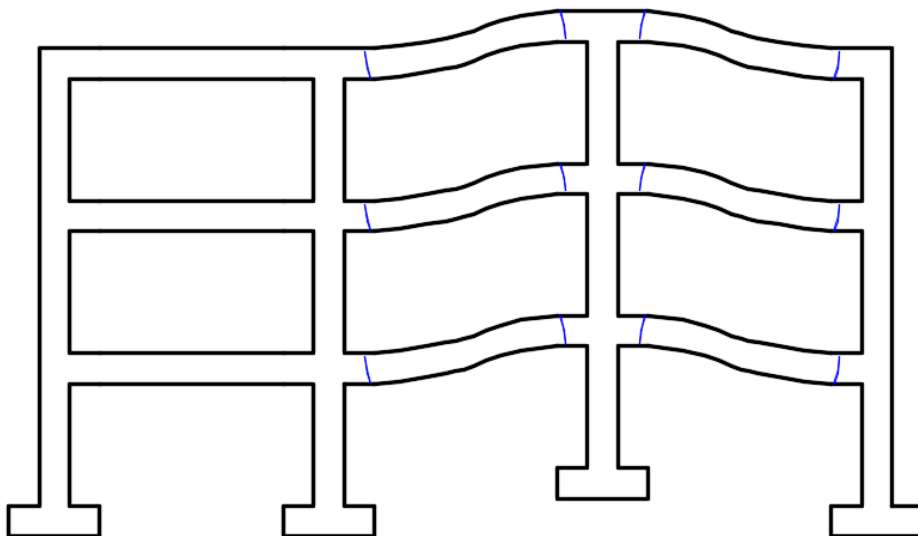
Características

- Fisuras de ancho variable
- Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- La fisura aparece en cara superior de viga junto a la columna que asciende y en la cara inferior en el extremo opuesto
- La longitud de fisuras se reduce hacia las plantas superiores

Causas

- Suelos expansivos
- Inyección del terreno en zonas próximas, que ejerza un empuje vertical sobre la cara inferior del cimiento, que supere la carga actuante sobre él en esa fase de construcción.

4) Fisuración por ascenso de columna intermedia



Características

- Fisuras de ancho variable
- Dirección vertical o de poca inclinación con la vertical
- La fisura aparece en cara superior junto a la columna que asciende, entre las dos vigas que se apoyan en él, y en cara inferior en los extremos de dichas vigas

- La longitud de fisuras se reduce hacia las plantas superiores.

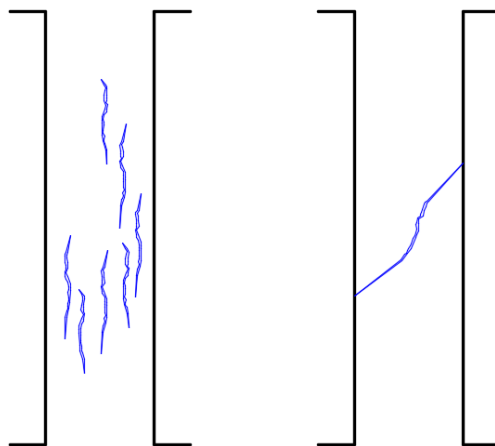
Causas

- Suelos expansivos
- Inyección de terreno en zonas próximas, que ejerza un empuje vertical sobre la cara inferior del cimiento, que supere la carga actuante sobre él en esa fase de construcción

2.3.2. Deformaciones bajo carga estática

Todo material se deforma bajo carga, la cuales pueden generar fisuras leves. Por lo general, las cargas de servicio no producen daños significativos, a menos que existan problemas de diseño o de construcción. El concreto reforzado, por naturaleza debe fisurarse para que el acero pueda tomar las tensiones de tracción, aún en el intervalo elástico de su comportamiento. Estas fisuras, por lo tanto, no son necesariamente dañinas.

1) Fisuración en columna por agotamiento de la resistencia del hormigón



Características

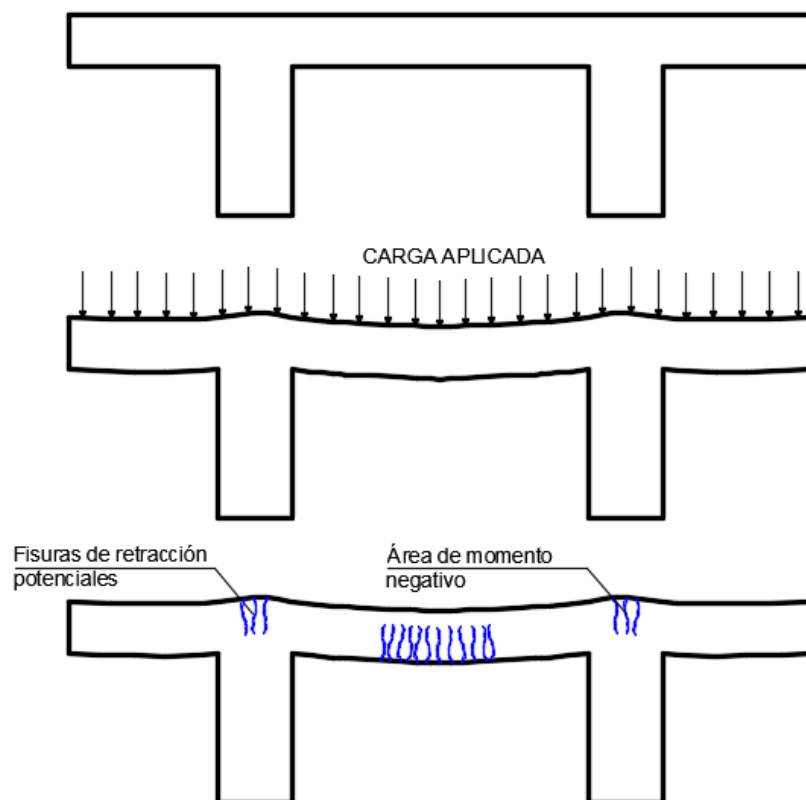
- En hormigones con estado de humedad normal o alto, las fisuras de prerrotura son paralelas a la directriz de la columna (Figura a.) la fisura inclinada de la (figura b) es muy rara y solo se presenta en el caso de hormigones secos.
- Suelen presentarse varias fisuras, paralelas.

- Las fisuras f son siempre muy finas, del orden de 0.1mm como máximo. (Sólo son de mayor ancho en columnas con una cuantía de estribos extraordinariamente más alta que la habitual)
- Generalmente no están superpuestas a las armaduras
- Aparecen en fase de prerrotura de la pieza, es decir, a partir del 80% al 90% de la carga de rotura de la columna.

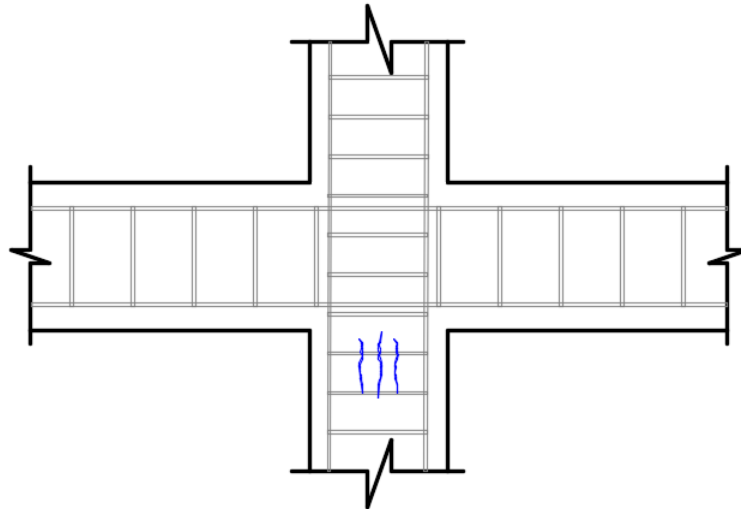
Causas

- Falta de resistencia del concreto para las tensiones a que está solicitado.

2) Deformación por aplicación de cargas



3) Fisuración vertical en la cabeza de la columna



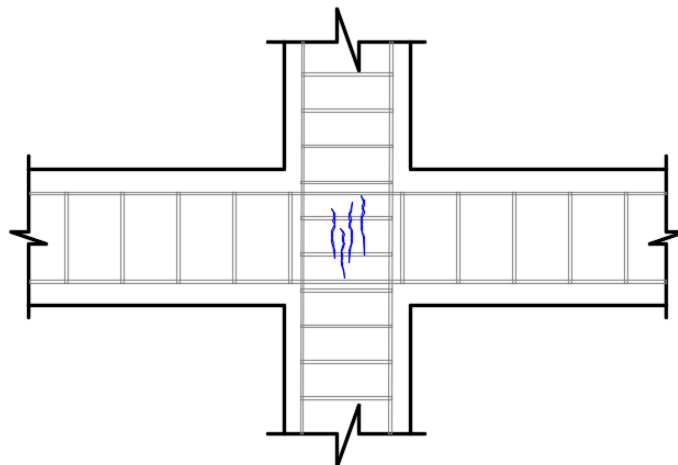
Características

- La tipología es similar a la expuesta en el caso anterior.

Causas

- Ausencia de estribos en la columna, en esa zona
- Deslizamiento de los estribos, que se encuentran juntos en la zona inferior a las fisuras
- Baja local de resistencia del concreto

4) Fisuración vertical en el Nudo



Características

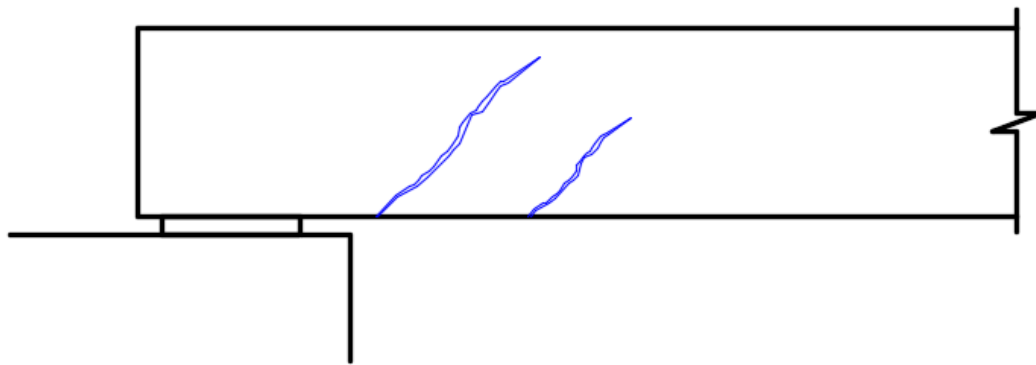
- Fisuras paralelas a la directriz de la columna

- Se producen solamente en el nudo
- Suelen presentarse varias fisuras paralelas
- Son de pequeño ancho, generalmente no mayores de 0.1mm

Causas

- Se producen en estructuras en las que la resistencia especificada para el concreto de columnas es considerablemente más alta que la de vigas y entrepisos (como es frecuente en edificios altos). Cuando el tronco de la columna se hormigonea, erróneamente, con el concreto de vigas y entrepisos.

5) Fisuración de esfuerzo cortante por tracción diagonal



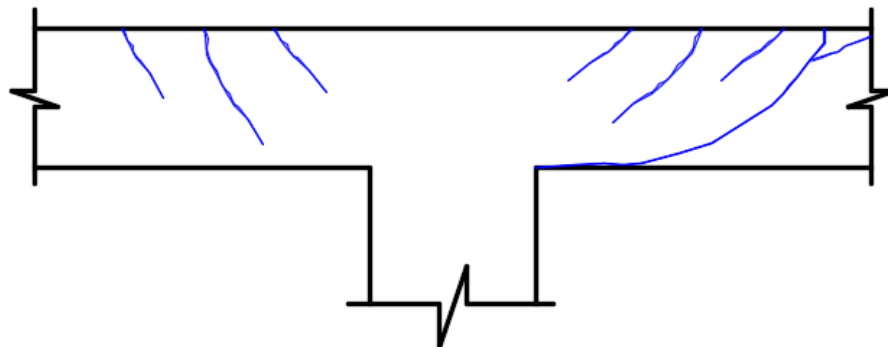
Características

- Fisuras inclinadas con ángulo de unos 45° con la directriz de la pieza, si en la zona no hay un momento flector apreciable. Si lo hay, el ángulo puede ser mayor.
- Fisura de ancho variable, mayor a nivel de la armadura de tracción.
- Generalmente la fisura, se cierra al llegar a la cabeza comprimida
- Frecuentemente se presentan varias fisuras paralelas, pero con separación apreciable.

Causas

- La causa de las fisuras indicadas es la excesiva tracción principal (diagonal) en el concreto, generada por alto esfuerzo cortante.

6) Fisuración esfuerzo cortante/flexión



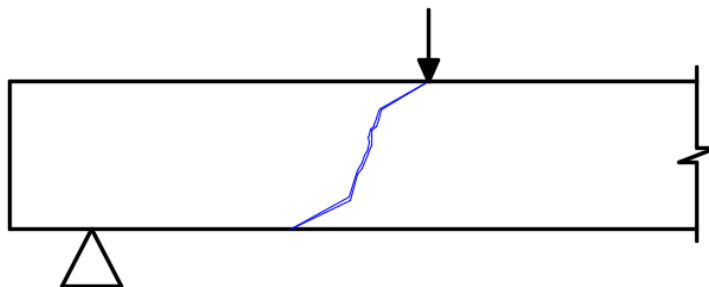
Características

- Se presenta en zonas de concreto fisurado por la acción de momentos flectores
- Fisuras mezcladas de flexión y corte
- Fisuras de ancho variable, mayor a nivel de la armadura de tracción

Causas

- La causa es una combinación de tensiones de cortante, flexión y tracción.

7) Fisuración por esfuerzo cortante en caso de cargas concentradas



Características

- Fisura que arranca a 45° con la directriz a nivel de la armadura de tracción y luego se curva dirigiéndose hacia la carga concentrada.

- Ancho máximo variable a nivel de la armadura de tracción, que se va reduciendo hasta anularse al llegar a la cabeza comprimida

Causas

- La causa es la excesiva tracción diagonal mezclada con el efecto local de la transmisión de la carga.

3. Causas de alteración a la durabilidad de los materiales

3.1. Introducción

En este capítulo se presenta las causas que pueden afectar la durabilidad de los materiales se clasifican en dos grupos: causas directas y causas indirectas.

Las **causas directas** son agentes que ponen en marcha el proceso patológico, es decir, la acción concreta sobre la unidad constructiva o materiales que inicia la degradación de los mismos que acaba en la pérdida de su integridad o de su aspecto, lo que constituye la lesión observable como síntoma (Pérez, 1998).

Por otro lado, las **causas indirectas** son los factores inherentes a la unidad constructiva consecuencia de su selección o de su diseño defectuoso que, al aunarse con la acción de la causa directa, posibilitan la aparición del proceso patológico. (Monjo Carrio, 1997)

3.2. Causas directas

Las causas directas pueden ser de tres tipos: mecánicas, físicas y químicas.

3.2.1. Causas Mecánicas

Las causas de origen mecánico que pueden provocar la alteración y deterioro de los materiales constructivos se engloban todas aquellas acciones que implican un esfuerzo mecánico sobre un determinado elemento del edificio que no había sido provisto o que resulta superior al que fue calculado, es decir, un esfuerzo superior al que determinado elemento puede soportar. (Monjo Carrio, 1997)

Algunas de las roturas que se presentan en los materiales manifiestan forma de fisuras, grietas o desprendimientos parciales, los cuales son muy comunes y constituyen a un gran peligro, debido a que además de provocar un desgaste del material, favorecen la entrada de aire y agua que pueden dar lugar a la aparición de patologías de tipo físico o químico. (Monjo Carrio, 1997)

Las lesiones de origen mecánico suelen ser: deformaciones; grietas y fisuras; desprendimientos; y erosiones. Cada uno de ellos contempla múltiples variables que dependen de las condiciones particulares de cada situación, de las características del material, del elemento constructivo, del uso, entre otros. A continuación, se analizará cada una de las lesiones de origen mecánico. (Monjo Carrio, 1997)

- **Deformaciones**

La deformación se define como aquel cambio en la forma sufrido en algún elemento estructural de la edificación como por un cerramiento como consecuencia de un esfuerzo mecánico. Estas deformaciones se pueden presentar durante la fabricación del elemento, como durante la ejecución de la unidad en la que va a quedar incluido o una vez que esta entra en carga.

Las deformaciones pueden tener distintas formas las cuales son:

Flechas, son resultados de la flexión de elementos horizontales ante un exceso de cargas verticales o transmitidas desde otros elementos estructurales.

Pandeos, se producen como consecuencia de un esfuerzo de compresión sobre un elemento vertical, tanto lineal como superficial, superior a su capacidad de carga.

Alabeos, son resultados de una rotación del elemento constructivo provocada normalmente por esfuerzos horizontales.

Desplomes, son consecuencia de un desplazamiento de la cabeza de los elementos verticales provocando por empujes horizontales sobre la misma.

Por lo general, en muchas ocasiones, cualquiera de las deformaciones anteriormente mencionadas se convierte en causas de otras lesiones mecánicas, como fisuras, grietas o desprendimientos, sobre todo cuando se afectan a los elementos de obra de fábrica.

Por otro lado, todas estas formas de deformación se sueñen clasificar en función de la causa que las ha originado, es decir, si se deben a alguna acción mecánica o si han sido provocadas por una deformación diferencial.

- **Grietas y fisuras**

Las grietas y fisuras son aberturas longitudinales que no son controladas y además no son deseadas, las cuales son producidas en un material o elemento constructivo, ya sean estructurales o no estructurales. La aparición de las grietas y fisuras manifiestan la existencia de un defecto grave o de un mal comportamiento en la edificación, que puede ser debido a fallos de proyectos o de ejecución, a un mal uso o conservación.

A las grietas y fisuras se les han tratado de dar distintas definiciones en función del tamaño de su abertura o de su movilidad, intentado sobre todo distinguir y diferenciar las características de cada una de estas dos lesiones, lo más adecuado parece clasificarlas según el espesor de la abertura en el material o elemento constructivo.

De acuerdo a la amplitud tenemos:

Microfisuras, son aberturas muy pequeñas que no resultan visibles.

Fisuras, aberturas que en general tienen una anchura inferior a un milímetro y que afectan solo a la superficie del material o del elemento constructivo o al acabado superficial superpuesto.

Según su movilidad las fisuras se suelen dividir en:

Fisuras muertas, sus dimensiones no varían a lo largo del tiempo y su único problema es su aspecto estético y la sensación de poca seguridad en la obra. Por lo general no se perciben a simple vista.

Fisuras vivas, su anchura aumenta o disminuye con el paso del tiempo o debido al uso de las edificaciones, por lo que se hace indispensables repararlas.

Grietas, son aberturas de más de un milímetro de ancho que afectan a todo en espesor del material o del elemento constructivo, por lo que provocan la pérdida de su consistencia y su integridad.

- **Sistema de clasificación de grietas según Audell, 1996**

Se clasificarán las grietas según Audell, 1996, para dar la mejor descripción posible y en el cual se utiliza un código de secuencia para clasificar las grietas de tal forma, que sea fácil y rápida la identificación de los movimientos (Viviescas Restrepo, 2010), (Audell, 1996):



1) Sentido del movimiento del suelo

La aparición de grietas es definida por las causas más probables que provoquen movimientos superficiales como son:

- El movimiento normal descendente o asentamiento (**N**)
- El movimiento inverso o expansivo (**R**)
- El movimiento causado por el deslizamiento de tierras, por reptaciones o flujos, otorgando la componente lateral u horizontal (**P**)
- Los movimientos dados en los tres sentidos (Normal, inverso y lateral) por un sismo (**S**).

2) Orientación de la grieta

Muros:

- La orientación en el plano vertical o muros, se define por medio de grietas verticales perpendiculares a la cimentación (**V**)

- Grietas diagonales encontradas en los rincones de los muros con algún ángulo respecto a la cimentación (**D**)
- Grietas horizontales paralelas a la cimentación (**H**)

Losas de piso:

- Las grietas paralelas se encuentran comúnmente en los bordes de las losas de piso y son paralelas al nivel de cimentación (**P**).
- Las grietas presentadas en los bordes de la losa con cualquier ángulo son llamadas grietas oblicuas (**O**)
- Las grietas que normalmente se encuentran en la zona central donde las grietas tienden a alejarse formando un domo, son llamadas grietas radiales (**R**).

Dirección de propagación para muros	
Clasificación	Descripción
Descendente	Hacia el piso
Ascendente	Hacia el techo
Lateral	Recorre todo el muro de forma vertical
Paralela	Recorre todo el muro de forma horizontal

Dirección de propagación para pisos	
Clasificación	Descripción
Interno	Propagación hacia el interior del piso
Externo	Propagación hacia el exterior del piso
Paralelo	Propagación que recorre toda la extensión del piso

3) Tipo de esfuerzo

Según la carga o presión aplicada a los distintos objetos, se encuentran:

- Esfuerzos de tensión (**T**), que se identifican por tener separaciones comúnmente abiertas

- Esfuerzos a cortante (**S**), las cuales son de separaciones muy estrechas o cerradas, acompañadas por desplazamientos laterales.
- Esfuerzos a compresión (**C**), de separación cerrada y con presencia de abultamientos.

4) Tipo de rasgo o discontinuidad

La diferencia entre grietas y fisuras radica en la dimensión de los espesores:

- Fisura (**G**), menor o igual a 5mm de espesor
- Grieta (**C**), mayor a 5mm de espesor.

- **Desprendimientos**

Los desprendimientos se definen como la separación incontrolada de materiales de acabado o de elementos constructivos del soporte o de la base en el cual estaban aplicados. En ocasiones el desprendimiento se presenta en los materiales de fachada, como ladrillos, piedra natural, entre otros. Por lo anterior, se entiende que el desprendimiento comprende dos consecuencias distintas: el deterioro funcional y estético de la fábrica y el peligro que representan los desprendimientos cuando caen en zonas por donde suelen pasar personas o vehículos.

Los agentes que influyen en la presencia de esta patología son: la antigüedad, la orientación y la exposición del edificio.

Antigüedad del edificio, es uno de los factores más relevantes en el análisis de la patología, debido a que los materiales con el paso del tiempo van perdiendo sus propiedades intrínsecas, como lo es el caso de los morteros, los cuales con el paso del tiempo van perdiendo la adherencia entre los materiales que lo componen.

Orientación del edificio, esto radica en relación con los agentes atmosféricos, como la incidencia del agua de lluvia, cambios repentinos de la temperatura. Lo anterior implica que, si una edificación está orientada de forma que la fachada favorece el

impacto de los agentes atmosféricos, será más fácil que se produzca un deterioro, lo cual debilitaría la adherencia de los materiales y por lo tanto, se presente el desprendimiento de los mismos.

Exposición del edificio, esta condición está relacionada con la orientación de la edificación, ya que la exposición puede afectar la fachada entera de un edificio o solo a una parte de la misma, es decir, que a mayor grado de exposición corresponde a una menor protección frente a los ataques atmosféricos.

- **Erosiones**

El proceso de erosión puede definirse como la destrucción o alteración de la capa superficial de los materiales que constituyen la capa exterior de cerramientos o revestimientos, siendo fruto de la acción conjunta de diversos agentes exteriores y de las características propias de cada elemento. La erosión mecánica, en la que el agente erosionante tiene un carácter mecánico y, por tanto, el resultado es una pérdida de material superficial por destrucción del mismo, bien de forma lenta (abrasión), rápida o violenta (golpe o impacto).

3.2.2. Causas Físicas

Las causas físicas, engloban el conjunto de agentes atmosféricos que pueden llegar a actuar sobre el edificio y, en especial, sobre la envolvente (la lluvia, el viento, el sol, las oscilaciones térmicas, etc.). El nivel de afectación de los diferentes agentes variará en función de las condiciones singulares de cada edificación como pueden ser la orientación de las fachadas o la altura de los edificios (mayor empuje).

Las lesiones de origen físico suelen ser: humedades; suciedad; y erosiones. Cada uno de ellos contempla múltiples variables que dependen de las condiciones particulares de cada situación, de las características del material, del elemento constructivo, del uso, entre otros. A continuación, se analizará cada una de las lesiones de origen físico.

- **Humedades**

La aparición de humedades en los diferentes revestimientos que componen el edificio va siempre ligada a todas aquellas manchas, de carácter más o menos permanente, que han sido provocadas por el almacenamiento de agua en una superficie no prevista para ello. Atendiendo a las diferentes causas que pueden provocar su aparición, deberemos establecer una tipología entre los tipos de humedades:

- a) *Humedades de obra*: tienen como origen el agua empleada en la construcción de los cerramientos o lo que puede llamarse como construcción húmeda (toda aquella en la que se emplea mortero de unión amasado con agua).

Este fenómeno ocurrirá pues, en todos aquellos revestimientos en cuyos acabados superficiales intervenga el mortero, como pueden ser: los revestimientos continuos de mortero de cemento o cal, guarnecidos y enlucidos de yeso con agua aportada durante el amasado, en el humedecimiento del soporte previo a la aplicación y en el curado. No obstante, el agua de obra no constituye una lesión, ya que es un componente imprescindible en la ejecución de las unidades constructivas.

El problema aparece cuando, por una actuación incorrecta, no se deja evaporar esa agua en su momento, limitando su salida al exterior mediante acabados superficiales aplicados antes de que la unidad constructiva esté suficientemente seca y, por tanto, haya desaparecido la humedad sobrante. Entonces, aparece una presión hacia el exterior sobre dicho acabado que suele producir abombamientos, empolladuras, desprendimientos, eflorescencias e, incluso, posibles erosiones físicas.

- b) *Humedad capilar*: se puede considerar como tal, toda aquella humedad que aparezca en los cerramientos como consecuencia de la ascensión del agua a través de su estructura porosa por el fenómeno de capilaridad.

Éste, consiste en el movimiento de un fluido a lo largo de un conducto longitudinal por efecto de la tensión superficial entre aquel y las paredes internas del material sometido a estudio. Este tipo de fenómeno patológico afecta principalmente a tres puntos clave del edificio: el arranque de los muros desde el terreno, el pavimento de las plantas bajas por succión capilar desde la solera y, en tercer lugar, en una serie de zonas localizadas en la fachada (albardillas, encuentro cerramiento y forjado, etc.)

- c) *Humedad de filtración*: aparece como consecuencia de un transporte de agua desde el exterior hacia el interior del revestimiento (filtraciones), lo que ocasiona las correspondientes goteras o manchas. Generalmente, se ocasionan por la mala resolución constructiva del encuentro entre diferentes elementos constructivos.

En todo caso, siempre que las filtraciones se produzcan en fachada, sus suelen ser, la aparición de manchas perceptibles desde el exterior y, tras un periodo de avance de la humedad a través del cerramiento, se refleja finalmente en el revestimiento del interior.

- d) *Humedad de condensación*: entendiéndose así la aparición de humedad en un revestimiento como consecuencia de la condensación de vapor de agua que tiende a atravesar el cerramiento del interior hacia el exterior. En este proceso, la condensación se produce porque este vapor alcanza la temperatura de saturación o de rocío y se convierte en líquido.

Deben distinguirse tres casos:

- Primero, las condensaciones superficiales interiores cuando se producen en la cara interior del cerramiento, ya que la temperatura superficial interior es inferior a la de rocío. Este caso se produce por un aumento exagerado de la presión de vapor en dicha superficie, lo cual debe entenderse como un exceso de producción de vapor en el local que se somete a estudio (baños, cocinas, etc.)

- Segundo, las condensaciones intersticiales que se producen cuando el fenómeno físico se produce en algún punto interior del cerramiento gracias a que la temperatura existente es inferior a la de rocío que le corresponde a aquél. Pueden aparecer simultáneamente con las condensaciones estudiadas anteriormente.

- Tercero, las condensaciones higroscópicas se ponen de manifiesto cuando la causa fundamental es la presencia de sales higroscópicas en el interior de los poros del material. Estas sales al entrar en contacto con el agua se expanden y producen una rotura del revestimiento.

- e) *Humedades accidentales*: generalmente hace alusión a la aparición de humedades debido a la rotura de alguna conducción de agua, ocasionando manchas localizadas generalmente en techos. Esta rotura de las tuberías se puede producir por sobretensión del conducto (al haber sido mal dimensionado para el caudal que debe circular a través de él), por rotura mecánica directa o por la corrosión a la que pueden ser sometidos (corrosión por inmersión, pares galvánicos, exposición a los álcalis y ácidos, etc.)

- **Suciedades**

El principal motivo de esta patología no es otro que la acumulación y permanencia de partículas ensuciantes en los edificios, ya sea en su parte exterior o en su interior, sin considerar las posibles reacciones químicas que pueden llegar a tener con los materiales que constituyen la superficie de contacto sobre la que se depositan.

A la hora de analizar este tipo de patología deberá abordarse desde dos frentes bien distintos que dependen de los dos focos de origen:

- a) Los focos de origen natural, considerando como tales las partículas orgánicas provenientes del proceso vital de los vegetales, las partículas inorgánicas constituidas por

el polvo de la tierra y las piedras y todos los fenómenos climáticos a los que se ve expuesto el edificio: la lluvia, el viento la radiación del sol.

Las partículas orgánicas provenientes del ciclo de polinización de las plantas (el polen), se va depositando en las fachadas de los edificios cercanos a este tipo de exposición. Este hecho no reviste una problemática grave, pero sí puede acentuarse si da lugar al crecimiento de organismos entre los elementos de fachada con el consecuente agrietamiento y desprendimiento del revestimiento interior.

Las partículas de polvo y piedra, al igual que en el caso anterior, tienen poco poder ensuciante. En cuanto a los diferentes fenómenos atmosféricos deben mencionarse el caso del viento y el agua: el primero, sirve como medio de transporte para elementos de suciedad mencionados anteriormente, desde su origen hasta la fachada; por su parte el agua al mismo tiempo que facilita el arrastre de las particular, desencadena el proceso de lavado diferencial que consiste en el transporte de ensuciantes tanto hacia el interior durante la absorción, como hacia el exterior.

- b) Los focos de origen artificial, son las partículas verdaderamente ensuciantes, tanto por su color pardo, como por su tamaño. A su vez pueden subdividirse en dos fuentes: las urbanas (calefacciones y tráfico rodado) y las industriales (emanaciones de los polígonos industriales cercanos a los núcleos urbanos).

- **Erosiones**

El proceso de erosión puede definirse como la destrucción o alteración de la capa superficial de los materiales que constituyen la capa exterior de cerramientos o revestimientos, siendo fruto de la acción conjunta de diversos agentes exteriores y de las características propias de cada elemento.

La erosión física; en este tipo de erosión el proceso patológico presenta un carácter físico, desde el agente erosionante hasta el mecanismo de erosión, obteniendo como resultado, al igual que en el caso anterior, una pérdida de material superficial producida de un modo más o menos lento y continuo.

Los agentes más corrientes son fenómenos atmosféricos normales (agua y oscilaciones térmicas), actuando conjuntamente por lo que también se conoce con el nombre de meteorización. Afecta generalmente a las superficies exteriores de los edificios, con mayor intensidad en función de su nivel de exposición y su estructura mineral o porosa.

3.2.3. Causas Químicas

Las causas químicas, referidas a todo tipo de productos químicos y sus reacciones, ya se apliquen de manera accidental, por organismos vivos o se produzcan en el propio ambiente. En este sentido, habrá de atender a los diferentes contaminantes ambientales que reaccionan con algunos elementos pétreos de las fachadas.

Las lesiones de origen químico suelen ser: Eflorescencia; Oxidación y corrosión; y erosiones. Cada uno de ellos contempla múltiples variables que dependen de las condiciones particulares de cada situación, de las características del material, del elemento constructivo, del uso, entre otros. A continuación, se analizará cada una de las lesiones de origen químico.

- **Eflorescencia**

Se puede definir las eflorescencias como el depósito de sales que se produce debido a una cristalización masiva de sales en la superficie de algún elemento constructivo visible para el usuario, ya sea en el exterior o en el interior del edificio. Este proceso se produce debido a la disolución de sales en agua para su transporte a la superficie sobre la que se depositan y la posterior evaporación del líquido.

Para que se produzca, es necesaria la confluencia de tres fenómenos:

- a) La existencia de sales solubles en algunos de los materiales constitutivos del cerramiento o el recubrimiento afectado (ladrillos, bloques, piedras, áridos, morteros, hormigón, etc.).
- b) Presencia de humedad, generalmente infiltrada y que tiene a salir al exterior por simple diferencia de presión de vapor.
- c) Disolución y transporte de las sales hacia la superficie exterior del cerramiento donde, al evaporarse el agua las sales disueltas se vuelven a cristalizar. Dependiendo del tipo de sales, los efectos serán más o menos agresivos con la unidad constructiva evaluada.

Algunas de las sales más comunes son: el sulfato cálcico, el sulfato magnésico, el sulfato potásico, el sulfato sódico, el sulfato de hierro, el sulfato de vanadio y el carbonato cálcico.

- **Oxidación y corrosión**

Estas patologías se enmarcan dentro de las acciones químicas que actúan simultáneamente y/o sucesivamente sobre los metales, siendo especialmente importante el medio (ya sea acuoso o seco) que rodea al elemento a estudiar, así como las características particulares del mismo.

A continuación, pasaremos a describir cada uno de los procesos y las causas que los producen:

- a) La oxidación puede definirse como el proceso por el que la superficie de un metal reacciona con el oxígeno de la atmósfera que le rodea, para producir una capa superficial de óxido del metal en cuestión.

Dicha capa puede ser: protectora, si es impermeable al oxígeno y está bien adherida al metal, o bien, no protectora, si resultase porosa o se agrieta, por lo que la oxidación continuaría hacia el interior del metal.
- b) La corrosión puede definirse como la descomposición de un metal por efecto del aire húmedo, pasando a convertirse en óxido o hidróxido. Para ello, se necesita el contacto de dos elementos que hagan las veces de ánodo y cátodo de la pila electroquímica que se

forma. De esta manera, el flujo de electrones del ánodo al cátodo se materializa con esta pérdida de partículas del metal que resulta corroído.

En los metales en los que la capa de óxido actúa como protección, el avance de la corrosión suele ser muy lento, si no nulo, mientras que en los materiales férricos, la capa de óxido la facilita. En cualquier caso, para la creación de la pila electroquímica es necesaria la existencia de un fluido conductor (electrolito).

Este suele ser el agua, que potencia su conductividad gracias a la presencia de sales contaminantes que facilitan el trasvase de electrones. Éste es el motivo por el que no se deben clavar planchas de cobre con clavos de acero o recubrir una chapa de este material con otra de zinc en un ambiente húmedo (fundamento del galvanizado).

- **Erosiones**

El proceso de erosión puede definirse como la destrucción o alteración de la capa superficial de los materiales que constituyen la capa exterior de cerramientos o revestimientos, siendo fruto de la acción conjunta de diversos agentes exteriores y de las características propias de cada elemento.

Las erosiones químicas, son aquellos tipos de erosiones en los que las reacciones químicas entre distintos elementos constitutivos de los materiales o entre ellos y los compuestos contenidos en la atmósfera, sean naturales o artificiales, constituyen la base principal del proceso patológico.

Los resultados de este tipo de erosión no se caracterizan sólo por la pérdida de material superficial, sino, sobre todo, por su alteración, que se manifiesta de diversas formas: - costras, de diversas texturas, consistencia y espesor. - ampollas, que son consecuencias de las costras y diversos procesos físicos. - pátinas, de procedencias muy diversas, aunque generalmente originadas por compuestos ajenos al propio revestimiento. - degradaciones y decementaciones, como consecuencia de la disolución de parte de los componentes.

4. Procedimiento para la evaluación de estructuras existentes

4.1. Introducción

En el presente capítulo se presenta un procedimiento de evaluación de estructuras, así como lo recomienda hacer NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, 2010).

Este procedimiento se aplica a estructuras antiguas y/o estructuras nuevas que presentan patologías y es necesario investigar el estado actual de la edificación para determinar si es segura la puesta en funcionamiento (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, 2010).

4.2. Procedimiento de evaluación estructural

El procedimiento indicado por el reglamento NSR-10 en A.10.1.4 para realizar la evaluación de una estructura existente debe contener las siguientes etapas:

4.2.1. Información Preliminar

- Etapa 1: Debe verificarse que la intervención esté cubierta por el alcance dado en A.10.13.
- Etapa 2: Debe recopilarse y estudiarse la información existente acerca del diseño geotécnico y estructural, así como del proceso de construcción de la edificación original y sus posteriores modificaciones, y deben hacerse exploraciones en la edificación, todo de acuerdo con A.10.2
- Etapa 3: El estado del sistema estructural debe calificarse con respecto a: a) la calidad del diseño de la estructura original y su sistema de cimentación y de la construcción de la misma y b) el estado de mantenimiento y conservación. Esta calificación debe hacerse de acuerdo con los requisitos de A.10.2.

4.2.2. Evaluación de la Estructura Existente

- Etapa 4: Deben determinarse unas solicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos de A.10.4.2.
- Etapa 5: Debe llevarse a cabo un análisis elástico de la estructura y de su sistema de cimentación para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4.
- Etapa 6: La resistencia existente de la estructura debe determinarse utilizando los requisitos de A.10.4.3.3.
- Etapa 7: Se debe obtener una resistencia efectiva de la estructura, a partir de la resistencia existente, afectándola por dos coeficientes de reducción de resistencia obtenidos de los resultados de la calificación llevada a cabo en la Etapa 3.
- Etapa 8: Debe determinarse un índice de sobreesfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento o sección de éste, entre las fuerzas internas solicitadas obtenidas del análisis estructural realizado en la etapa 5 para las solicitaciones equivalentes definidas en la Etapa 4 y la resistencia efectiva obtenida en la Etapa 7.
- Etapa 9: Utilizando los desplazamientos horizontales obtenidos en el análisis de la Etapa 5 deben obtenerse las derivas de la estructura.
- Etapa 10. Debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas en la Etapa 9 y las derivas permitidas por el Reglamento en el Capítulo A.6. Igualmente debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos verticales como el máximo cociente entre las deflexiones verticales medidas en la edificación y las deflexiones permitidas por el Reglamento NSR-10.

4.2.3. Intervención del Sistema Estructural

- Etapa 11: La intervención estructural debe definirse de acuerdo con el tipo de modificación establecida en A.10.6 dentro de una de tres categorías: (a) Ampliaciones adosadas, (b) Ampliaciones en altura y (c) Actualización al Reglamento.
- Etapa 12: El conjunto debe analizarse nuevamente incluyendo la intervención propuesta, la cual debe diseñarse para las fuerzas y esfuerzos de este nuevo análisis. El diseño geotécnico y estructural y la construcción deben llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos que para cada tipo de modificación establece el Capítulo A.10.

4.3. Análisis de vulnerabilidad

Según el reglamento NSR-10, el análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

- a) Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos,
- b) Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con mayor índice de sobreesfuerzo,
- c) Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento, y
- d) Obtención del índice de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.4.3.5. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que

tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento.

5. Casos de estudio

5.1. Introducción

En el presente capítulo se presentan cuatro casos de estudio en el cual se analiza las causas por las cuales se presentaron las patologías en las estructuras. El primer caso de estudio se refiere al colapso de una estructura metálica que cubre un área de 296.81 metros cuadrados; el segundo caso de estudio son las patologías que se presentan en un conjunto de viviendas industrializadas debido al movimiento lateral de tierras; el tercer caso de estudio es el de un Centro de Desarrollo Infantil CDI, que presentó problemas de asentamientos diferenciales debido a malos manejos en el suelo de implantación; por último el cuarto caso de estudio, son las patologías presentes en un Hogar Infantil, para el cual se hace una vulnerabilidad sísmica por la antigüedad en la construcción de la edificación, siendo necesaria el reforzamiento de la estructura actualizando a la normatividad vigente.

Para lo anterior, se presentan fichas de identificación de patologías, de tal forma que se pueda analizar cada una de las lesiones y daños que presentan las estructuras, cuales sus posibles causas, y con ello realizar un estudio para el mejoramiento de la edificación en caso que sea factible. (Sánchez Trujillo, González Herrera, Castañeda Nolasco, García Lara, & Aguilar Carboney, 2019), (Liébana Ramos & Álvarez Cabal, 2019)

5.2. Caso de estudio 1: Colapso de estructura metálica

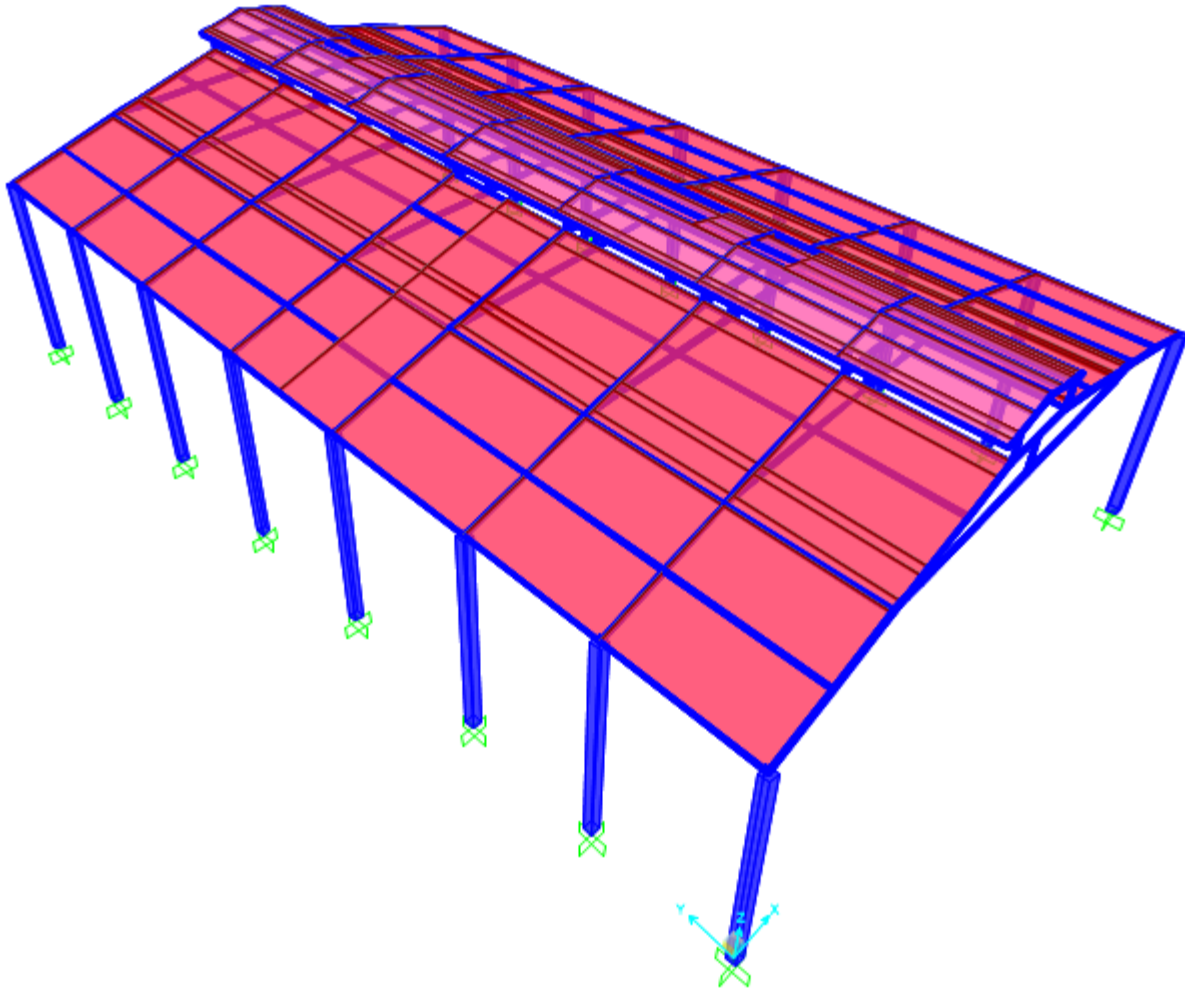


Figura 2. Modelo estructural de caso de estudio 1: Colapso de estructura metálica.

Fuente: Informe de revisión y diagnóstico: Bodega comercial D1.

El primer caso de estudio patológico se refiere al colapso de una estructura metálica, la cual cubre un área de 296.81 metros cuadrados, la cubierta consta de ocho cerchas las cuales están apoyadas en dos columnas de 20cm de lado en sus extremos cada una, las cerchas están formadas de tubos rectangulares de 100x50x2mm y correas de 75x38x1mm y soportan tejas livianas. (Cáceres, Informe de revisión y diagnóstico Estado actual Bodega Comercial D1, 2019) A continuación se presenta la forma de la cercha estudiada:

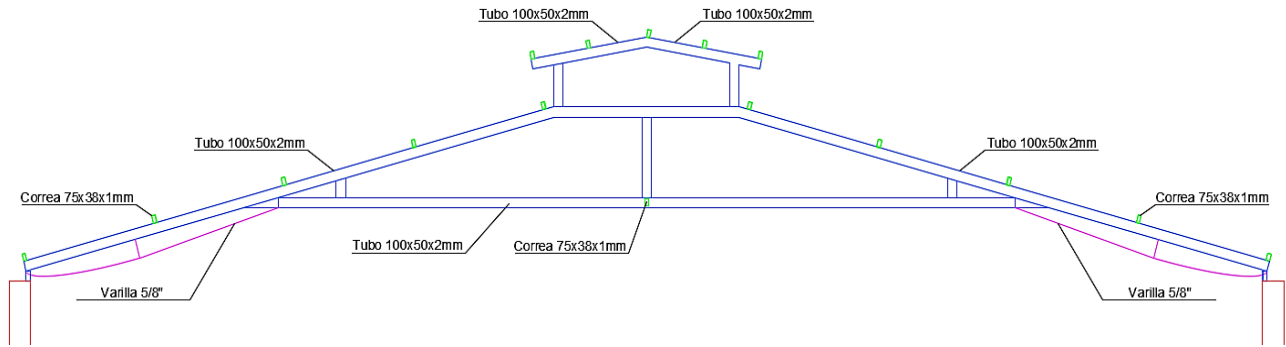


Figura 3. Cercha de caso de estudio: Colapso de estructura metálica.

Fuente: Informe de revisión y diagnóstico: Bodega comercial D1.


La estructura metálica no presentó patologías visibles en días anteriores al colapso, por lo que se requirió determinar las razones del colapso según la propia estructura, es decir, después del colapso se analizó cuáles eran las razones por las que falló la estructura.

Para poder analizar la razón de la falla de la estructura, es necesaria la realización de un modelo matemático estructural, con el fin de determinar por medio del uso de elementos finitos cuales fueron las razones reales para que se causara el colapso de la estructura. Es por ello que, a continuación, se presentan imágenes de las patologías evidenciadas en el estudio del colapso de la estructura metálica, analizando cada uno de los elementos que contenía la estructura.

Para dicho análisis es necesario el uso de una ficha técnica donde se identifiquen los elementos que conforman la estructura, además de clasificar e identificar las patologías y lesiones evidentes en la estructura luego del colapso.

La ficha contiene los elementos que debería contener la estructura, que para el caso de una estructura metálica son: cimentación, columnas, vigas, cerchas, correas, contravientos, riostras y una cubierta liviana. Además, es necesario identificar si los elementos presentan lesiones, que según su clasificación, pueden ser físicas, mecánicas o químicas: dentro de las lesiones físicas se tiene daño por humedad, suciedad o erosión; para las lesiones mecánicas se tienen los daños por grietas, fisuras


o deformaciones; y para las lesiones químicas se tienen los daños por oxidación, corrosión o la presencia de organismos vivos.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS					FICHA No.		
					1 / 5		
Elemento Afectado				Tipología de la Lesión			
Cimentación		Correas	X	Física	Mecánica	Química	
Columnas		Contravientos		Humedad	Grieta	Oxidación	
Vigas		Riostras		Suciedad	Fisura	Corrosión	
Cerchas		Cubierta Liviana	X	Erosión física	Deformación	X	Organismos
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión			
Una de las principales fallas presentadas en la estructura se presentó en las correas principales que sostenían las tejas livianas de la cubierta, como se observa en la imagen.							
Descripción de la Causa de la Lesión							
Las correas fallaron por torsión, lo que indica una mala ubicación de las correas en la cercha o la no generación de nudos en ellas, se producen cargas puntuales en los elementos, donde debido a su bajo espesor se considera que no se tuvo en cuenta en el diseño.							

En la anterior ficha, es posible identificar que fueron afectados las correas y por ende la cubierta liviana, debido a la deformación por torsión de la estructura. Según el análisis presentado, se tiene que el agente externo que generó el colapso se trató de una lluvia torrencial presentada en la zona donde se ubicaba la estructura, además, por medio del análisis del modelo matemático generado, se identificó que la estructura carecía de un correcto diseño estructural, la principal conclusión presentada fue que:


- El sistema fue inadecuado en el detallado geométrico de la unión cercha-columna y conexiones entre los elementos metálicos, lo cual ha generado que varios elementos no trabajen a tensión y/o compresión pura, sino que esté presentando un fenómeno de flexo-

tracción y/o flexo-compresión para lo cual estos elementos no están en condiciones de resistir.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS				FICHA No.					
				2 / 5					
Elemento Afectado			Tipología de la Lesión						
Cimentación		Correas	X	Física		Mecánica		Química	
Columnas		Contravientos		Humedad		Grieta		Oxidación	
Vigas		Riostras		Suciedad		Fisura		Corrosión	
Cerchas	X	Cubierta Liviana	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos	
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión					
Falla en la cercha, específicamente en el cordón principal.									
Descripción de la Causa de la Lesión									
Falla a flexión del cordón principal donde estos elementos son principalmente diseñados para resistir a tracción o compresión. No se aprecia el diseño del nudo donde se genera rótula plástica.									

En la ficha No. 2, se logra identificar que los elementos que deberían trabajar a tensión o a compresión, se encontraban trabajando a tensión, debido a que el sistema carecía de conexiones adecuadas en los elementos que hacen la transferencia de cargas. Es por lo anterior, que se genera la siguiente conclusión luego del análisis de la estructura:

- Por falencias en el tipo de fabricación y la colocación de los elementos estructurales sin diseño previo alguno, los elementos están sometidos a grandes esfuerzos de flexo compresión y flexo tracción que aceleran el colapso de la estructura ante cargas superiores a la de diseño.


FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS				FICHA No.					
				3 / 5					
Elemento Afectado				Tipología de la Lesión					
Cimentación		Correas		Física		Mecánica		Química	
Columnas	X	Contravientos		Humedad		Grieta		Oxidación	
Vigas		Riostras		Suciedad		Fisura		Corrosión	
Cerchas	X	Cubierta Liviana	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos	
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión					
Falla en la conexión entre las cerchas metálicas y las columnas de concreto reforzado.									
Descripción de la Causa de la Lesión									
Falla a compresión de las columnas, debido a que las cerchas no están correctamente ancladas a las columnas, además se tiene que la dimensión de la columna no es suficiente para generar un apoyo estable para las cerchas, lo cual generó el fallo en los apoyos.									

En la ficha No. 3, se logró identificar que existió una inadecuada conexión entre la estructura metálica y la estructura en concreto reforzado de soporte, es por lo que se genera la falla a compresión de las columnas, lo cual se debe a que el tamaño del apoyo no era el adecuado para la estructura que soportaba.


Las estructuras deben diseñarse de tal forma que todos sus elementos estén transmitiendo cargas hacia los apoyos, en particular las estructuras metálicas hacen transferencia de cargas por medio de las conexiones. Otra conclusión que se obtiene del análisis de la estructura es:

- La alta ductilidad de los aceros estructurales, que es una de las grandes ventajas de las estructuras metálicas, se puede ver entorpecida por una mala soldadura que puede presentar falla de los nudos entre los elementos.

Por lo anterior, es necesario generar conexiones adecuadas que garanticen la transferencia de cargas en casos extremos, así como el evento de lluvia presentado que generó el fallo y colapso de la estructura.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS						FICHA No.	
						4 / 5	
Elemento Afectado				Tipología de la Lesión			
Cimentación		Correas		Física	Mecánica	Química	
Columnas		Contravientos		Humedad	Grieta	Oxidación	
Vigas		Riostras		Suciedad	Fisura	Corrosión	
Cerchas	X	Cubierta Liviana	X	Erosión física	Deformación	X	Organismos
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión			
Falla en nudo entre los dos cordones principales de la cercha.							
Descripción de la Causa de la Lesión							
La falla se presentó debido a la inexistencia de una conexión adecuada entre los dos cordones principales de la cercha principal.							

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS METÁLICAS						FICHA No.	
						5 / 5	
Elemento Afectado				Tipología de la Lesión			
Cimentación		Correas		Física	Mecánica	Química	
Columnas		Contravientos		Humedad	Grieta	Oxidación	
Vigas		Riostras		Suciedad	Fisura	Corrosión	
Cerchas	X	Cubierta Liviana	X	Erosión física	Deformación	X	Organismos
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión			

<p>Falla por la falta de transferencia de cargas debido a conexiones incorrectas entre las correas y las cerchas principales.</p>	
<p>Descripción de la Causa de la Lesión</p>	
<p>Las correas que se encargan de transmitir las cargas a la cercha no se encuentran ubicadas en los nudos de la misma, por lo cual genera cargas puntuales en los elementos que se debe tener en cuenta en el diseño, dado a sus dimensiones se aprecia que no se tuvo en cuenta y es propenso a falla.</p>	

Como recomendaciones generadas a partir del análisis del colapso de la estructura se tiene lo siguiente:

- Debido al colapso total de la estructura se deberá desmontar toda la estructura metálica, debido a que no es recuperable ni apta para un posterior diseño. Se requiere realizar un estudio para reforzar y/o diseñar nuevas columnas capaces de soportar las cargas que transmiten las cerchas de cubierta.
- Se deberá realizar un nuevo diseño de las cerchas metálicas capaces de resistir las cargas muertas, cargas vivas, cargas de viento, carga de empozamiento de agua que se puedan presentar de acuerdo a la geometría de la cercha, realizando un correcto diseño de conexiones de los elementos para evitar las fallas presenciadas, realizar por un profesional idóneo en el tema.

5.3. Caso de estudio 2: Vulnerabilidad en vivienda de muros industrializados

El segundo caso de estudio se refiere a un conjunto de viviendas construidas mediante un módulo de dos viviendas con un sistema estructural de muros industrializados o tipo túnel de dos niveles, su sistema de cimentación está basado en viga-placa. (Cáceres, Informe de revisión y diagnóstico Estado actual Viviendas muro industrializado, 2019)


La estructura tiene un área en planta de 66.82 metros cuadrados, donde cada módulo presenta un desnivel en terrazas de aproximadamente 2m, en las viviendas que presentan patologías. En los planos no se aprecia el diseño de contención de las estructuras por el cambio de nivel, pero se informa que se realizó un muro en concreto reforzado de 25cm.

La aparición de grietas y fisuras se pueden dar en cualquier elemento estructural y no estructural debido a muchos factores como movimientos inesperados del tipo asentamientos, expansiones, movimientos laterales debido al desconfinamiento de taludes o a sismos; pero también se deben a propiedades de los materiales que son alteradas debido a sobrecargas o vibraciones en zona aledaña.


La patología principal detectada en las viviendas es la aparición de grietas en la estructura (muros y pisos), por lo cual, se debe conocer los esfuerzos que puedan provocar desplazamientos o movimientos en la misma.

Generalmente, por el tipo de grieta y al momento de clasificarla, indican que se deben a desplazamiento lateral o movimiento de la cimentación causado por el suelo y/o asentamiento de la cimentación de los muros apoyados sobre el suelo., por lo anterior, se realizó una inspección general de los elementos estructurales, con el fin de identificar cualquier patología presente en la edificación.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS DE SISTEMA INDUSTRIALIZADO					FICHA No.	
					1 / 3	
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química
Cimentación		Humedad		Grieta	X	Oxidación
Pisos y acabados		Suciedad		Fisura		Corrosión
Muro en concreto reforzado	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos
Losa de entrepiso				Desprendimiento	X	Eflorescencia
Cubierta						
Descripción del Elemento Afectado			Fotografía identificando la Lesión			
Grietas en los muros de la fachada principal.						
Descripción de la Causa de la Lesión						
<p>La grieta encontrada en la vivienda de la derecha de la foto, la cual es horizontal, se debe a movimientos horizontales a través de un eje, por lo tanto presenta un esfuerzo de corte, lo cual es causado por flujos constantes en la cimentación y se clasifica como PHSC.</p> <p>La grieta encontrada en la vivienda de la izquierda de la foto, la cual es diagonal, se debe probablemente a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo de cortante, lo cual es causado por posible asentamiento del muro de contención y/o deslizamiento lateral del muro y la vivienda superior y se clasifica como PDSC.</p> <p>Se presenta una grieta horizontal en la parte superior de la ventana de la vivienda que puede ser causada por el desplazamiento lateral de la misma.</p> <p>La grieta diagonal en el muro se debe probablemente a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo de cortante. Puede ser causado por posible asentamiento del muro de contención y/o deslizamiento lateral del muro y la vivienda superior y se clasifica como PDSC.</p>						

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS DE SISTEMA INDUSTRIALIZADO					FICHA No.	
					2 / 3	
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química
Cimentación						
Pisos y acabados		Humedad		Grieta	X	Oxidación
Muro en concreto reforzado	X	Suciedad		Fisura		Corrosión
Losa de entrepiso	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos
Cubierta				Desprendimiento	X	Eflorescencia
Descripción del Elemento Afectado			Fotografía identificando la Lesión			
Grietas en los muros perimetrales.						
Descripción de la Causa de la Lesión						
<p>En la fotografía se aprecia un desplazamiento lateral del muro donde se genera la ampliación de la junta de dilatación.</p> <p>Se presenta una grieta diagonal en muro que se debe a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto, presenta un esfuerzo de cortante. Lo cual es causado por movimientos de taludes en zonas cercanas o construcciones vecinas el cual produce un desplazamiento lateral tanto de la cimentación como de algunos elementos de enlace desde un punto fijo de la estructura y se clasifica como PDSC.</p> <p>En la dilatación de la fotografía anterior, se forma una gran grieta vertical que continua por la losa que puede ser causado por movimientos horizontales en un punto del pórtico por flujos lentos afectando la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo a tensión. Se puede clasificar como PVTC.</p>						

Se evidencia, que en el estudio de patología realizada al conjunto de viviendas del caso de estudio, se tiene que por un mal tratamiento al suelo en donde se encuentra emplazada la estructura, genera que la estructura se deforme de tal manera que los esfuerzos producidos por las deformaciones y movimientos, sean mayores a los esfuerzos de diseño de la estructura.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS DE SISTEMA INDUSTRIALIZADO					FICHA No.	
					3 / 3	
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química
Cimentación						
Pisos y acabados		Humedad		Grieta	X	Oxidación
Muro en concreto reforzado	X	Suciedad		Fisura		Corrosión
Losa de entrepiso	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos
Cubierta				Desprendimiento	X	Eflorescencia
Descripción del Elemento Afectado			Fotografía identificando la Lesión			
Grietas en pisos y acabados de la losa de entrepiso.						
Descripción de la Causa de la Lesión						
<p>La grieta vertical del muro continúa en la losa siendo una grieta perpendicular a la cimentación, causado posiblemente por deflexión de la cimentación hacia abajo respecto a la línea de referencia causando un esfuerzo de cortante. Se puede clasificar como NPSC.</p> <p>Debido a que los problemas detectados se dan en los módulos de viviendas que tienen diferencia o cambio de nivel hasta dos metros y las grietas se encuentran en ese eje; se estima que se debe al desplazamiento del muro o al desplazamiento del terreno en este punto, generando un asentamiento, giro y desplazamiento lateral.</p> <p>Si es causado por el desplazamiento lateral del muro es un efecto local pero si es causado por el deslizamiento del terreno se convierte en un efecto global.</p>						

Cada movimiento del suelo genera una marca los cuales nos indican el tipo su dirección. De acuerdo a la descripción anteriormente mencionada se puede describir los siguientes movimientos, que son las posibles causas de las grietas:

- **Movimiento lateral u horizontal en un punto del muro:** Es ocasionado principalmente por flujos muy lentos y se dan en un punto del muro o cimentación. El movimiento es localizado y afecta una zona pequeña de la edificación. (Viviescas Restrepo, 2010)

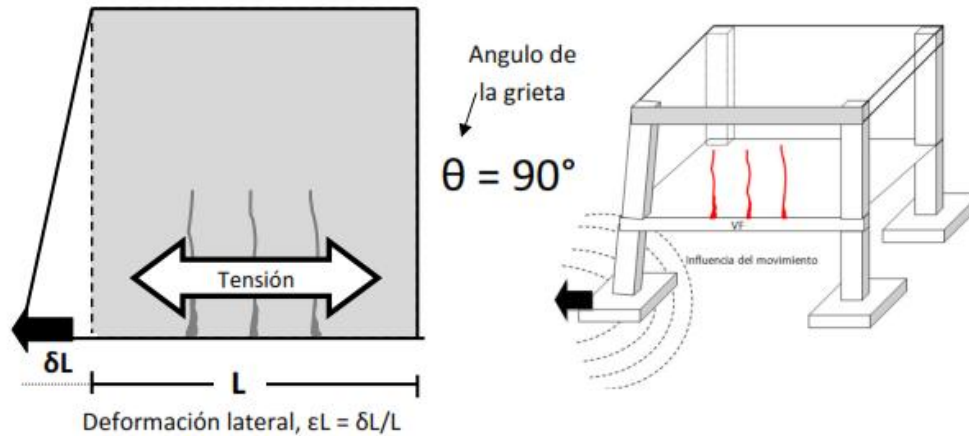


Figura 4. Grietas debido a movimientos horizontales en un punto.

Fuente: Grietas ocasionadas por problemas geotécnicos (Viviescas Restrepo, 2010)

- **Movimiento lateral u horizontal en un eje del muro:** Es ocasionado principalmente por flujos muy lentos y se dan en un eje del muro. El movimiento es localizado y afecta la estructura de cimentación y presentan esfuerzos cortantes sobre el muro. (Viviescas Restrepo, 2010)

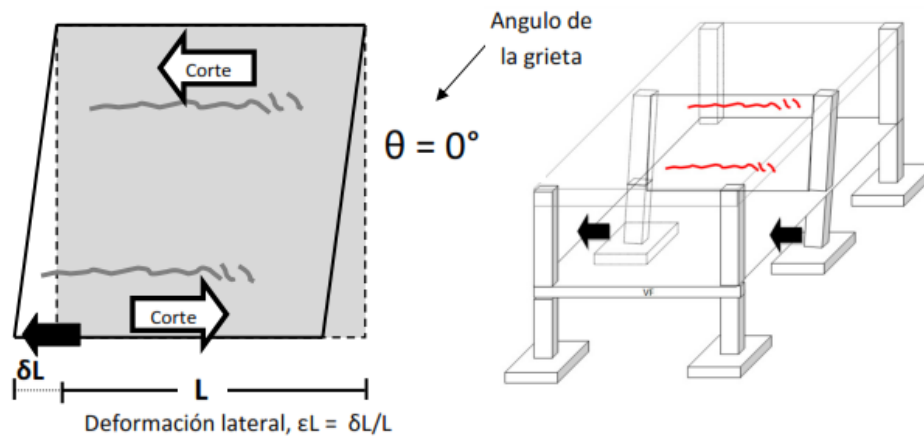


Figura 5. Grietas debido a movimientos horizontales a través de un eje.

Fuente: Grietas ocasionadas por problemas geotécnicos (Viviescas Restrepo, 2010)

- **Movimientos verticales en un punto del muro:** Se deben principalmente a asentamientos o expansiones del suelo. Las grietas se identifican por que aparecen en las esquinas de puertas y ventanas y por la aparición de grietas a 45° en muros, sin presencia de vanos. (Viviescas Restrepo, 2010)

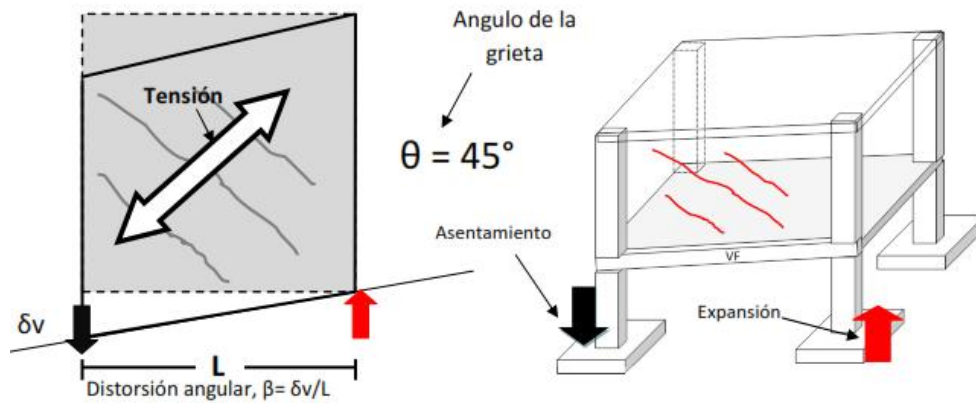


Figura 6. Grietas debido a movimientos verticales en un punto.

Fuente: Grietas ocasionadas por problemas geotécnicos (Viviescas Restrepo, 2010)

- **Movimientos verticales en dos o más puntos del muro:** Se deben principalmente a la reacción del suelo a las cargas impuestas por la estructura. Se presentan asentamientos diferenciales y totales. Los movimientos no alteran el nivel de la losa, pero si provocan una distorsión en las zonas contiguas a la cimentación. Se puede presentar movimiento homogéneo en la cimentación o desigual cambiando la dirección de las grietas. (Viviescas Restrepo, 2010)

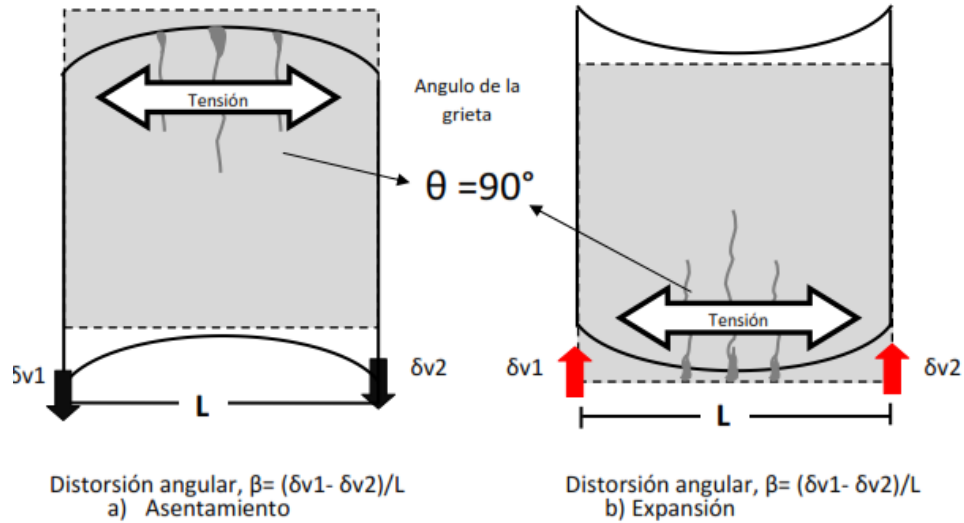


Figura 7. Grietas debido a movimientos verticales en dos o más puntos.

Fuente: Grietas ocasionadas por problemas geotécnicos (Viviescas Restrepo, 2010)

- Movimientos verticales en un eje del muro:** Se deben principalmente a movimientos en los elementos de enlace de las cimentaciones. Es ocasionado principalmente por asentamientos o expansiones en las capas superficiales, debido a cambios en las propiedades del suelo como cambios en la humedad o desconfinamiento. Se reconoce por una distorsión de la losa de piso, pero en los extremos se mantiene el nivel inicial de la edificación. (Viviescas Restrepo, 2010)

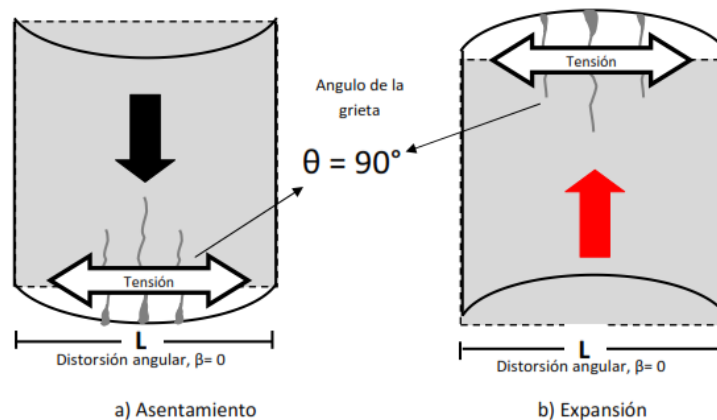


Figura 8. Grietas debido a movimientos verticales en un eje del pórtico.

Fuente: Grietas ocasionadas por problemas geotécnicos (Viviescas Restrepo, 2010)

- **Giros:** Se encuentran comúnmente en edificaciones hechas en las zonas de influencia de movimiento de taludes o en zonas cercanas a cortes o construcciones vecinas, los cuales producen un desplazamiento tanto en la cimentación como de algunos elementos de enlace desde un punto fijo de la estructura. Lo localización del punto depende de la influencia del movimiento sobre la edificación. (Viviescas Restrepo, 2010)

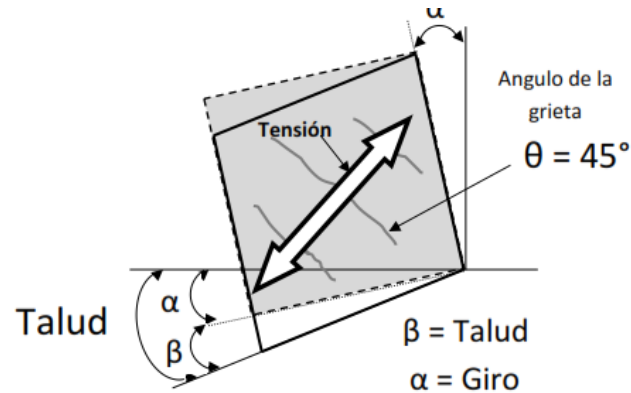


Figura 9. Grietas debido a giros.

Fuente: Grietas ocasionadas por problemas geotécnicos (Viviescas Restrepo, 2010)

Conclusiones y recomendaciones del Estudio Patológico del caso de estudio 2.

Lo anteriormente mencionado en las fichas No. 1, No. 2 y No. 3, del caso de estudio 2, está basado en una inspección visual y una clasificación de las patologías encontradas en las estructuras.

Las posibles soluciones ante los daños presentes serán anclajes, que son dispositivos capaces de transmitir esfuerzos de tracción desde la superficie del terreno hasta una zona del interior del mismo y está acompañado de otros elementos estructurales para conseguir la estabilidad del conjunto; Otra solución, sería el reforzamiento del sistema estructural, en las zonas donde se requiera, realizando tratamiento al suelo, recalzar la cimentación y fortaleciendo la estructura. Todo ello debe estar acompañado de estudios especializados para obtener el tratamiento adecuado. (Viviescas Restrepo, 2010)

Desde un punto de vista económico, se concluye que un reforzamiento en la estructura y tratamiento del suelo podrá ser más costoso que la posible demolición y construcción nueva de las viviendas; detectando y corrigiendo las causas de los daños presentados con el fin de evitar una posterior aparición de grietas, es decir, resolver el problema de raíz.

Las viviendas objetos de este estudio se encuentran en constante riesgo, por lo tanto, se recomienda evacuar y/o reubicar sus habitantes.

Con el fin de conocer, las causas exactas de las patologías encontradas, se deberán realizar un estudio especializado en el terreno de fundación y en los elementos estructurales y no estructurales de la edificación.

Una vez realizados los estudios especializados, existen dos opciones: uno es la demolición total de la edificación y construcción nueva; y dos, el reforzamiento de la estructura existente y tratamiento del suelo.

La opción viable teniendo en cuenta un estudio técnico-económico, es demoler las viviendas y construirlas nuevamente, mitigando inicialmente el problema presentado con el fin de que no se vuelvan a presentar.

Si se escoge el reforzamiento de la estructura, se recomienda analizar el tratamiento del suelo y la utilización de anclajes en el terreno antes de recalzar la superestructura.

5.4. Caso de estudio 3: Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI, Cormoranes

El centro de desarrollo infantil CDI Cormoranes, está comprendido por seis (6) estructuras independientes, las cuales son: Zona administración, Club infantil, Área de servicios, Sala Cuna, Aulas y Batería sanitaria, a continuación se presenta la configuración arquitectónica de la edificación a estudiar. (Convenio interadministrativo No. 2271, 2017)

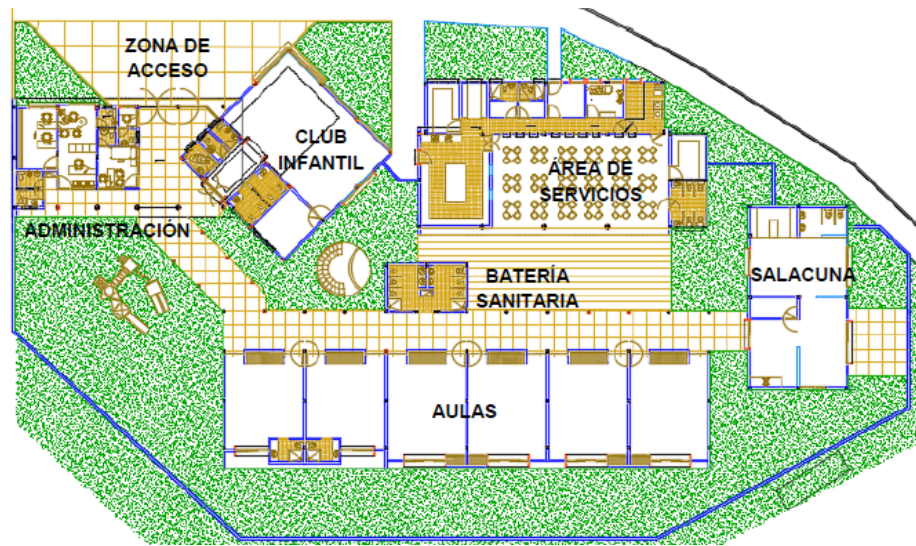


Figura 10. Configuración arquitectónica de la estructura de estudio.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI, Cormoranes

Para el análisis de las causas del fallo de la estructura se requirió de investigar cada uno de los aspectos que influyó en el deterioro de la edificación, ya que dicha estructura falló antes de la puesta en funcionamiento. Los aspectos a analizar son:

- Geología de la zona.
- Reconocimiento geotécnico.
- Revisión del diseño estructural.
- Patologías encontradas en la estructura.

5.4.1. Geología de la zona

Según el Estudio Hidro-geológico editado por Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras, en el cual se recopila la geología de la zona de Cúcuta y sus áreas aledañas, el área de terreno destinada al Proyecto se ubica sobre la transición entre las unidades estratigráficas denominadas “Formación León, Tml” y los “Depósitos Cuaternarios, terrazas aluviales, Qcr”, separadas estas por el anticlinal Aguas Calientes.

La Formación León, compuesta en su totalidad de arcillas pizarrosas de color habano, gris a gris verdoso y en algunos casos abigarradas que presenta horizontes limolíticos hacia la parte baja y alta de la formación.

El contacto inferior de la Formación es normal (anticlinal normal “Aguas Calientes”) y se marca donde ocurre el cambio de las arcillas pizarrosas puras de esta Formación a los sedimentos de los depósitos cuaternarios cuyo espesor puede rebasar el centenar de metros de acuerdo a los resultados de las Investigaciones de Resistividad eléctrica y registros de perforaciones a gran profundidad realizados (Estudio Geo-eléctrico para la Ciudad de Cúcuta, 1981).

Análisis con sistema de información geográfica.

Para caracterizar la estructura del suelo es importante observar las geoformas que se presentan en el suelo, en un periodo en el que se encontrase inalterado. Para tal fin se estudiaron imágenes de satélite y fotografías aéreas de diferentes fuentes con el fin de encontrar cambios en la cobertura del suelo que pudieran significar factores importantes en la estructura del suelo de la zona de estudio.

En un primer escenario se realizó un levantamiento fotogramétrico (Schenk, 2005) de la zona utilizando un Dron DJI Phantom en el que se cubrió la zona de estudio con orto-fotografías a 70 metros de altitud, con estas imágenes se elaboró un modelo 3D de la zona y una orto-imagen de alta resolución de la zona de estudio.



Figura 11. Modelo 3D de la Zona de Estudio Elaborado a partir de ortofotografías tomadas con un dron DJI Phantom 4.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI, Cormoranes

Se encontró, para la zona de estudio, una fotografía aérea tomada por el IGAC en el año 2003 en el que se observa toda la zona de estudio completamente inalterada, en donde es posible observar algunos caminos rurales y drenajes completamente inalterados con meandros, pendientes suaves y zonas con poca a nula vegetación a lo mejor degradadas por erosión, característica típica de las zonas arcillosas.

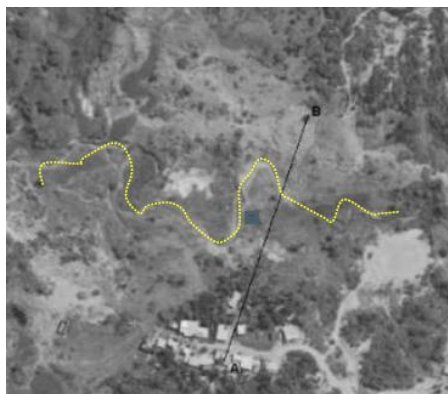


Figura 12. Fotografía Aérea de la zona de estudio IGAC año 2003.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI, Cormoranes

En estas imágenes se indica con una línea la ubicación del corte topográfico realizado para el análisis de los cambios en el terreno, además el color amarillo resalta la geometría del cauce a la fecha. Al sur de la zona de estudio se resalta un pequeño caserío que sirve como punto de referencia para confirmar que la georreferenciación de esta imagen es la apropiada y que sin lugar a duda corresponde a la zona de estudio en el año 2003.

Al superponer esta imagen del año 2003 con los planos arquitectónicos del CDI es posible observar que una parte de este proyecto está cimentado en una zona que constituía para aquel entonces en zona de canal o drenaje natural “Línea amarilla resalta el cauce del drenaje natura en aquella fecha”

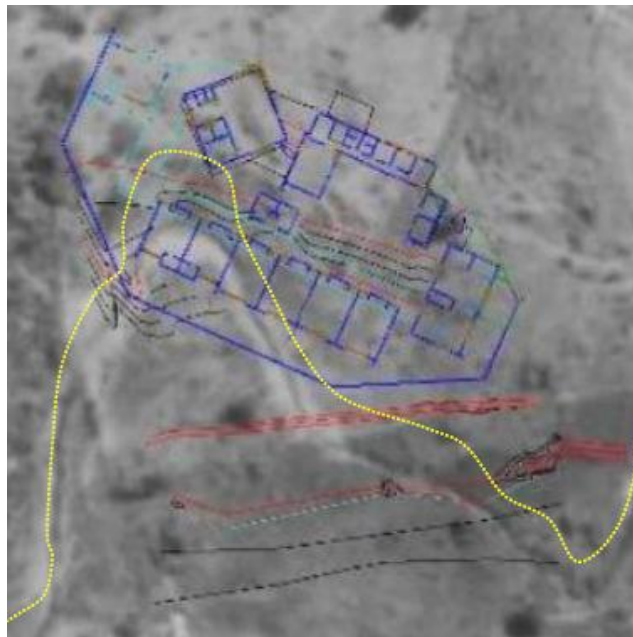


Figura 13. Planos Arquitectónicos del CDI sobre fotografía aérea del IGAC año 2003.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI,

Cormoranes

Al realizar un corte topográfico de la zona y comparar los datos obtenidos del Dron con los que provee el Satélite ALOS PALSAR de resolución espacial 12.5 metros es posible observar que existe

una diferencia de 9 metros en la vertical y un desplazamiento de 30 metros en la horizontal entre la ubicación original del canal y la ubicación actual del mismo.

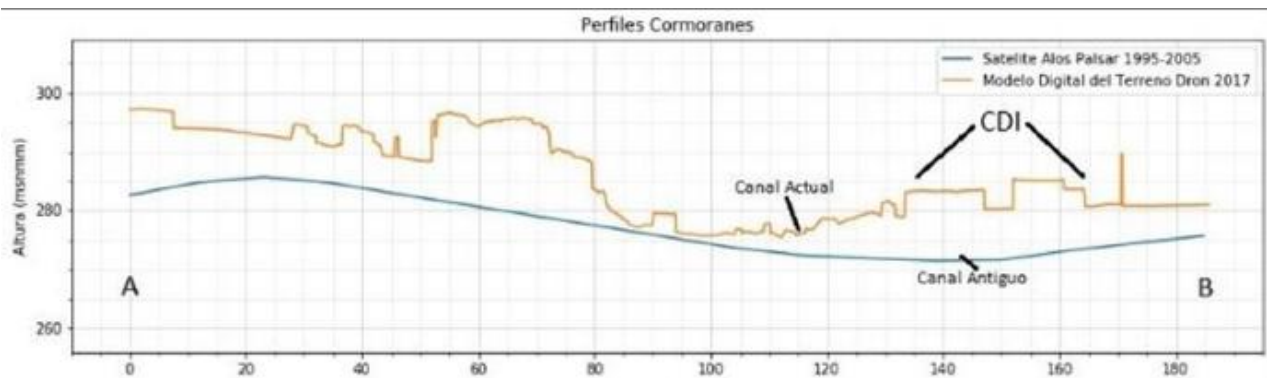


Figura 14. Perfil Topográfico de la zona entre los puntos A-B, Satélite Alos Palsar y Modelo Digital del Terreno Dron 2017.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI,
Cormoranes

5.4.2. Reconocimiento geotécnico

El contenido de humedad natural a lo largo del perfil explorado, tiende a ser alto, incluso mayor a los valores de los límites plásticos de las muestras ensayadas. En general, los análisis granulométricos muestran superficialmente suelos de tipo arcilloso con un contenido de arenas finas reducido, variables entre el 3 y 9.0%. Según la composición granulométrica y los límites de Atterberg, las capas del perfil superficial investigado se clasifican de acuerdo a la U.S.C. como arcillas inorgánicas con trazas de arenas, de alta plasticidad de los tipos CH.

El grado de plasticidad es en general alto ($27 < IP < 50\%$), observándose su crecimiento con la profundidad. En general, la fracción fina de los suelos identificados en los perfiles, corresponden a materiales de límite líquido inferior al 50% con tendencia a estar ubicados sobre la línea A de la Carta de Plasticidad de Casagrande y, por lo tanto, clasificados como arcillas de alta plasticidad (CH).

La resistencia al corte "in-situ" medida con el penetrómetro manual, corresponde a una consistencia media a baja ($0.5 > q_u > 2.0 \text{ Kg/cm}^2$). Definiendo que incluso en muchos casos no fue posible tomar lectura del penetrómetro ya que se presentaba una masa de suelos muy suelta y con una consistencia muy baja.

De los Límites de Atterberg, se puede inferir que la expansibilidad de las capas superficiales del perfil es alta. El grado de permeabilidad, en general puede estimarse como bajo para todas las capas del perfil investigado, ($K \approx 1.0 \times 10^{-4} / 1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/seg}$).

Los registros de los apiques y pozos profundos dentro y aledaños a las instalaciones de CDI-Cormoranes, permiten inferir que la posición del nivel freático oscila entre los 6.0 y 7.0 m.

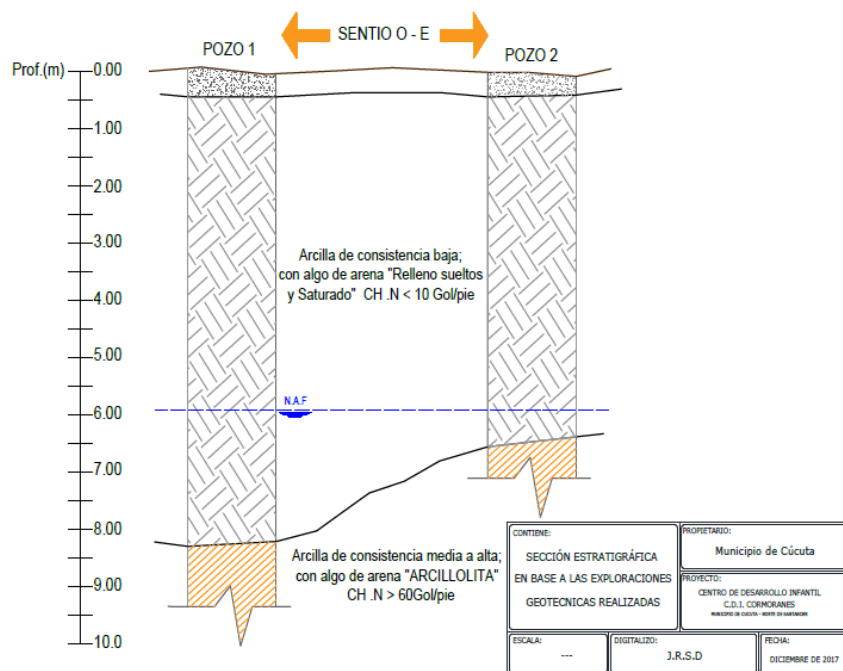


Figura 15. Sección estratigráfica del proyecto en base a sondeos realizados.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI, Cormoranes

Del análisis realizado se determina que el sub-suelo del proyecto está en condiciones altas de humedad, muy cercano a la saturación total, debido que esta área sigue siendo una parte activa de la cuenca y del recorrido que deben hacer las aguas infiltradas en los predios adyacentes a la

urbanización cormoranes para llegar a su punto de entrega convirtiéndose en el canal que delimita al costado sur del CDI – Cormoranes.

Por lo anterior, se deduce que al subir el nivel freático se presenta una disminución importante en el estado de esfuerzos efectivos, aparte de presentar lavado de material fino de las masas de suelos sueltas y generar oquedades, que eliminan la capacidad al suelo de resistir cualquier tipo de carga.

En conclusión, la presencia de agua de infiltración continuamente hace disminuir la presión de contacto entre partículas y sumando que el agua además no resiste esfuerzos de corte, por lo que el efecto inmediato será disminuir la capacidad ultima de carga del suelo.

Además, las zapatas aisladas de la cimentación de las edificaciones quedaron emplazadas en materiales de diferentes propiedades físico-mecánicas, las presiones transmitidas al suelo por el peso propio de las estructuras generaron asentamientos diferenciales que fisuraron los elementos no estructuras y estructurales. Sumado a que pueda existir lavado del material suelto de relleno en el suelo de cimentación, generando vacíos que afectaron los pisos internos de las estructuras.

Se calculan los asentamientos diferenciales generados para valores de carga conocida.

Verificando que exceden el rango de distorsión angular $L/300$.

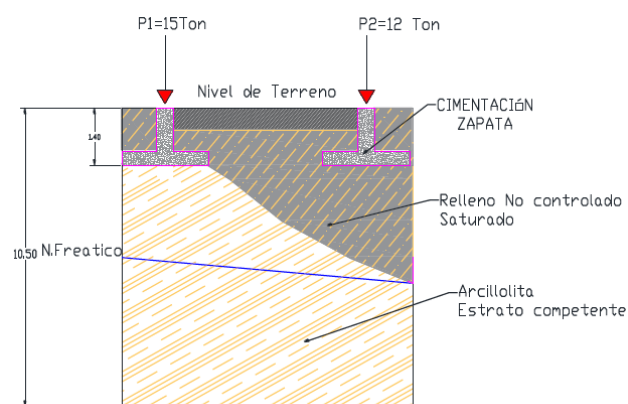


Figura 16. Modelo para el cálculo de asentamientos diferenciales en zapatas.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI,

Se evalúan que los asentamientos diferenciales no excedan los máximos permitidos por la NSR - 10 del título H, el cual se debe tomar de la tabla H.4.9-1 (c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores, no mayores a $L/300$. Para lo cual se obtuvo un asentamiento diferencias de 1.29cm sienta el máximo permitido por NSR-10, de 1.17cm, por lo que no cumple con los requisitos. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10, 2010)

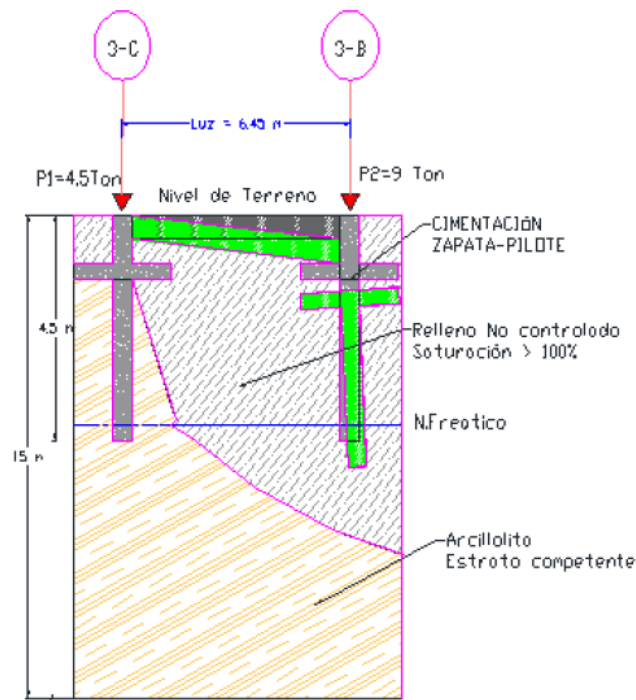


Figura 17. Modelo para el cálculo de asentamientos diferenciales en zapatas-pilote.

Fuente: Informe Afectaciones y alternativas de solución del Centro de Desarrollo Infantil – CDI,
Cormoranes

5.4.3. Revisión del diseño estructural

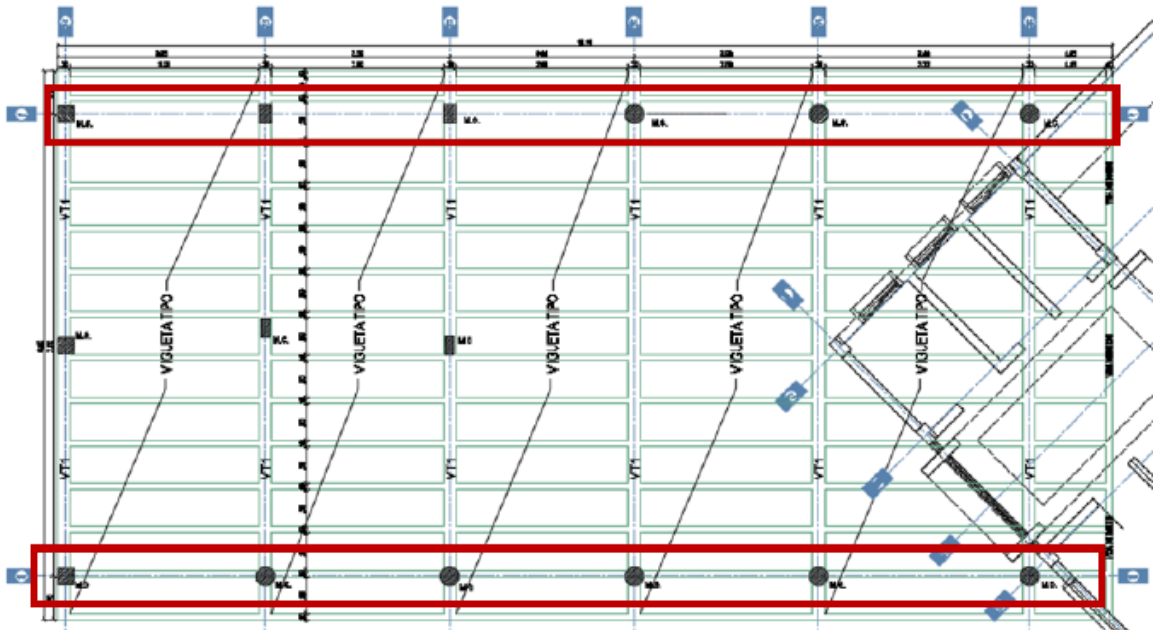
En la estructura se encuentra columnas de dimensiones 20x30, 25x25 y 15x30, que de acuerdo con el seccional C.21.6.1.1., la dimensión mínima para columnas con capacidad especial de disipación de energía es de 30cm y su área no puede ser menor de 0.09 metros cuadrados, por lo tanto, no cumple con las dimensiones mínimas para estos elementos.

La separación de estribos designado en el despiece de las columnas no cumple con los requisitos mínimo de la NSR-10. Por ejemplo: Para la columna de dimensiones 20x30:

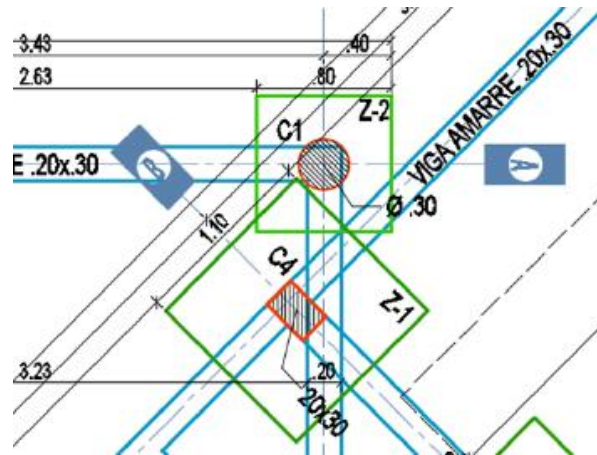
- a) $20/4 = 5 \text{ cm}$
- b) $6 * 1.27 \text{ cm} = 7.62 \text{ cm}$
- c) 10cm

La menor separación es de 5cm y lo estipulado en los planos es de 10cm, por lo tanto, no cumple con la separación de estribos en la zona de confinamiento.

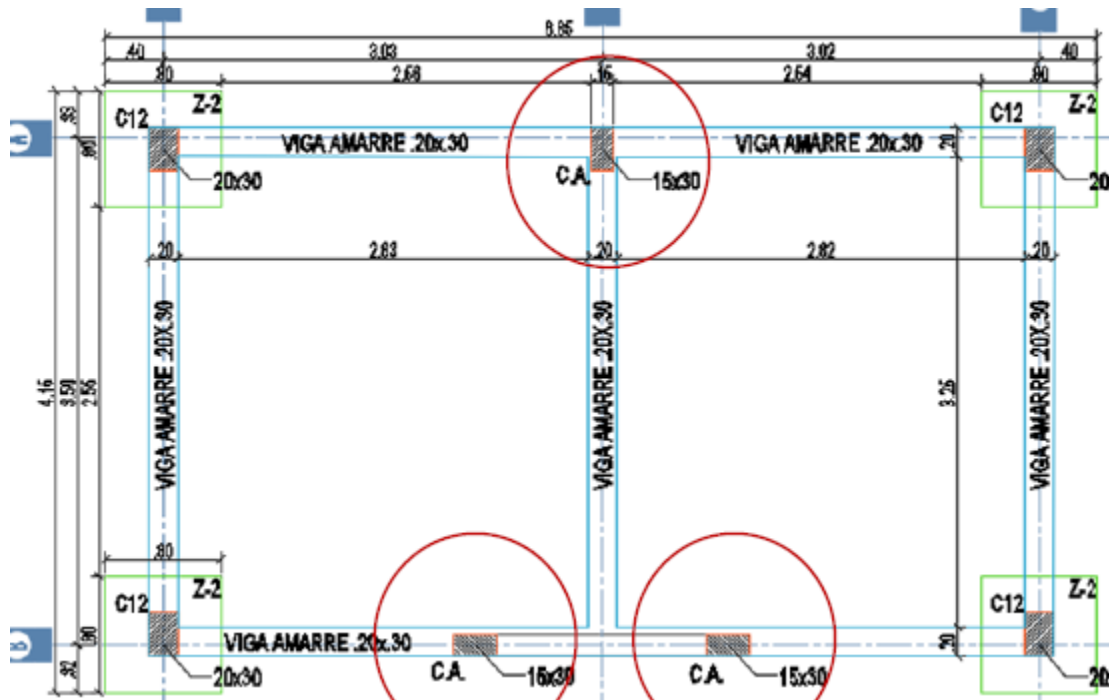
No se evidencia vigas de cubierta en el sentido X amarrando las columnas, lo cual no se considera como un sistema de pórticos resistentes a momentos en ambas direcciones, como se muestra a continuación:



Se evidencia que el nivel de cimentación es el mismo pero las zapatas en algunos puntos se encuentran superpuestas, como se muestra a continuación:



No se encuentra de zapatas para algunas columnas. Como se muestra a continuación:




Mediante la revisión realizada a los planos estructurales, teniendo como lineamiento la Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, donde se estipula los requisitos mínimos de diseño sismo resistente, se puede concluir a través de la estimación de un porcentaje, la cantidad de elementos estructurales y no estructurales que no cumplen con la normativa y que no se comportarán de forma adecuada en el momento que se presente un evento sísmico.

- Las columnas no cumplen con las dimensiones mínimas y área mínima estipulada en la sección C.21.6.1.1. de la NSR-10. Lo cual se requiere su aumento de sección mediante un reforzamiento.
- Las columnas no cumplen con separación de estribos estipulado en la sección C.21.6.4.3. de la NSR-10.
- El refuerzo longitudinal de las columnas, no cumple con el gancho mínimo de acuerdo a su diámetro.
- El sistema estructural no se considera como un sistema de pórticos resistentes a momentos en ambas direcciones, debido a la no existencia de vigas de amarre en un sentido de la estructura. De igual manera no se garantiza la existencia de un diafragma rígido a nivel de cubierta.
- Las vigas no cumplen con la separación de estribos en la zona de confinamiento y no confinamiento.
- Las vigas no cumplen con la ubicación de los traslapes de las barras y no confinan el mismo.
- Las vigas no cumplen con la altura mínima debido a la luz más grande presentada, teniendo en cuenta la tabla C.9.5 (a).
- Los elementos no estructurales no cumplen los requisitos mínimos debido a la inexistencia de los diseños.


5.4.4. Patologías encontradas en la estructura

Durante el levantamiento estructural, se realizó una inspección general de los elementos estructurales, con el fin de identificar cualquier patología presente en la edificación. Esta inspección se realizó en las zonas donde era posible tener acceso directo a las vigas o a las columnas sin ningún tipo de recubrimiento que escondiera la superficie real de los elementos.


En general, se encontraron grietas en los elementos de mampostería, columnas, pisos y acabados.


FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS					FICHA No.	
					1 / 5	
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química
Cimentación		Humedad		Grieta	X	Oxidación
Pisos y acabados		Suciedad		Fisura		Corrosión
Muro en mampostería	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos
Columnas				Desprendimiento		Eflorescencia
Vigas						
Cubierta						
Descripción del Elemento Afectado		Fotografía identificando la Lesión				
Grieta por separación de la dilatación entre el muro de mampostería y la columna.						
Descripción de la Causa de la Lesión						
<p>Se presenta una grieta vertical en la junta entre muro de mampostería y columna, que puede ser causada por el desplazamiento diferencial de la cimentación.</p> <p>La grieta vertical en el muro se debe probablemente a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo de tensión, se puede clasificar como NVTC.</p>						


En la ficha anterior se logra identificar las fallas producidas por los malos manejos que se le dio a la estructura, en primer lugar por el inadecuado tratamiento que se le dio a la estructura del suelo para estabilizarlo y homogenizarlo, es decir, que en el proceso constructivo no se siguió de forma adecuada las recomendaciones dadas por el ingeniero especialista en suelos.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS						FICHA No.		
						2 / 5		
Elemento Afectado			Tipología de la Lesión					
			Física		Mecánica		Química	
Cimentación								
Pisos y acabados	X		Humedad		Grieta	X	Oxidación	
Muro en mampostería			Suciedad		Fisura		Corrosión	
Columnas			Erosión física		Deformación	X	Organismos	
Vigas					Desprendimiento		Eflorescencia	
Cubierta								
Descripción del Elemento Afectado			Fotografía identificando la Lesión					
<p>Propagación de la junta de dilatación por problemas de estabilidad de la estructura del suelo, lo cual genera grietas en los pisos.</p>								
Descripción de la Causa de la Lesión								
<p>La grieta continúa en el piso causado por deflexión de la cimentación hacia abajo respecto a la línea de referencia causando un esfuerzo de tensión. Se puede clasificar como NOTC.</p> <p>Es causado por el asentamiento diferencial del terreno, debido a un mal manejo en el mejoramiento del terreno de emplazamiento.</p>								

El proyecto se realizó en dos fases, cada una de ellas con diferente tipo de cimentación, lo cual generó que la estructura se comportara de forma independiente, sumado a la inestabilidad del suelo, generó que se produjeran asentamientos diferenciales como se explicó en el reconocimiento geotécnico, y debido a los desplazamientos diferenciales, se generan sobre esfuerzos que superan a los de diseño, por lo que se producen grietas en las dilataciones, tal y como se aprecia en las fichas de reconocimiento de lesiones en la estructura.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS				FICHA No.			
				3 / 5			
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión					
		Física		Mecánica		Química	
Cimentación	X						
Pisos y acabados	X	Humedad		Grieta	X	Oxidación	
Muro en mampostería	X	Suciedad		Fisura		Corrosión	
Columnas	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos	
Vigas	X			Desprendimiento	X	Eflorescencia	
Cubierta	X						
Descripción del Elemento Afectado		Fotografía identificando la Lesión					
<p>La junta de dilatación entre las dos fases de la construcción de la estructura, generando que una de las dos estructuras se moviera diferente a la otra produciendo la apertura de la dilatación como se muestra en la fotografía.</p>							
Descripción de la Causa de la Lesión							
<p>En la fotografía se aprecia un desplazamiento rotacional del muro donde se genera la ampliación de la junta de dilatación.</p> <p>En la dilatación de la fotografía, se forma una gran grieta vertical que continua por la losa que puede ser causado por movimientos horizontales en un punto del pórtico por flujos lentos afectando la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo a tensión. Se puede clasificar como NVTC.</p>							

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS					FICHA No.	
					4 / 5	
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química
Cimentación		Humedad		Grieta	X	Oxidación
Pisos y acabados		Suciedad		Fisura		Corrosión
Muro en mampostería	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos
Columnas				Desprendimiento		Eflorescencia
Vigas						
Cubierta						
Descripción del Elemento Afectado		Fotografía identificando la Lesión				
Grieta diagonal en el muro de mampostería por asentamientos diferenciales.						
Descripción de la Causa de la Lesión						
<p>Se presenta una grieta diagonales en el muro de mampostería, que puede ser causada por el desplazamiento diferencial de la cimentación.</p> <p>La grieta diagonal en el muro se debe probablemente a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo de tensión, se puede clasificar como NDTC.</p>						

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS					FICHA No.	
					5 / 5	
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química
Cimentación		Humedad		Grieta	X	Oxidación
Pisos y acabados		Suciedad		Fisura		Corrosión
Muro en mampostería	X	Erosión física		Deformación	X	Organismos
Columnas	X			Desprendimiento	X	Eflorescencia
Vigas						
Cubierta						
Descripción del Elemento Afectado		Fotografía identificando la Lesión				
Grieta horizontal en el muro de mampostería por asentamientos diferenciales.						
Descripción de la Causa de la Lesión						
<p>Se presenta una grieta horizontal en el muro de mampostería, que puede ser causada por el desplazamiento diferencial de la cimentación.</p> <p>La grieta horizontal en el muro se debe probablemente a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo de tensión, se puede clasificar como NDTC.</p>						

5.5. Caso de estudio 4: Vulnerabilidad sísmica de un hogar infantil

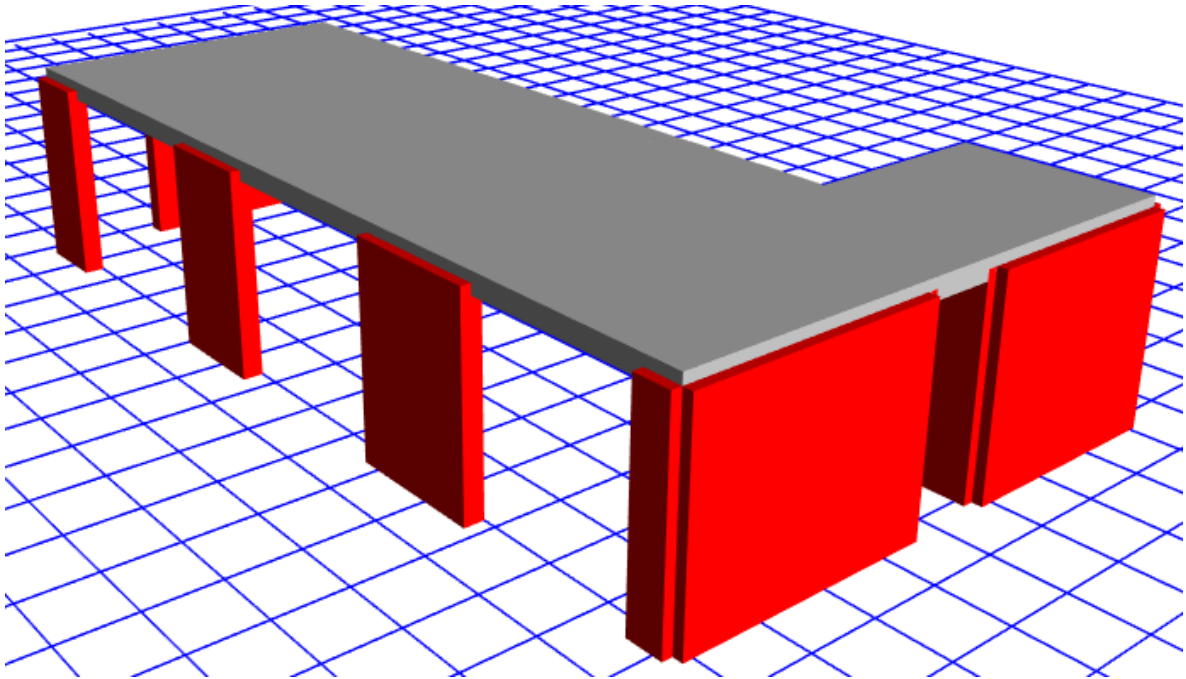


Figura 18. Modelo estructural de caso de estudio 4: Vulnerabilidad sísmica de hogar infantil.

Fuente: Informe de estudio de vulnerabilidad sísmica hogar infantil (Cáceres, Estudio de vulnerabilidad sísmica Hogas Infantil, 2018).

Según el reglamento NSR-10, el análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

- a) Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos,
- b) Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con mayor índice de sobreesfuerzo,
- c) Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de

la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento, y

- d) Obtención del índice de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.4.3.5. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del reglamento.

5.5.1. Exploración de la estructura existente

El reglamento NSR-10 especifica en el numeral A.10.2 los estudios e investigaciones requeridas para el proceso de evaluación estructural, donde se sugiere realizar investigaciones sobre la construcción existente, tendientes a determinar los siguientes aspectos acerca de ella:

- a) Cuando se disponga de documentos descriptivos del diseño de la estructura y su sistema de cimentación original, debe constatarse en el sitio su concordancia con la construcción tal como se encuentra en el momento. Deben hacerse exploraciones en lugares representativos y dejar constancia del alcance de estas exploraciones.
- b) La calidad de la construcción de la estructura original debe determinarse de una manera cualitativa.
- c) El estado de conservación de la estructura debe evaluarse de una manera cualitativa.
- d) Debe investigarse la estructura con el fin de determinar su estado a través de evidencia de fallas locales, deflexiones excesivas, corrosión y otros indicios de mal comportamiento estructural.
- e) Debe investigarse la ocurrencia de asentamientos en la cimentación y su efecto en la estructura.

- f) Debe determinarse la posible ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura, debidos a explosión, incendio, sismo, remodelaciones previas, colocación de acabados que hayan aumentado las cargas, y otras modificaciones.

Para tratar de investigar el estado de los materiales que componen la estructura, se realizaron una serie de ensayos y exploraciones. Lo cual consistió en el escaneo del acero de refuerzo y la determinación de la resistencia del concreto de los elementos estructurales mediante esclerómetro. Estos ensayos fueron realizados por personal calificado y bajo estándares normativos como son las Normas Técnicas Colombianas NTC vigentes.

PUNTOS	NUCLEOS	ELEMENTO	EJES	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Mpa)		
				ESCLEROMETRIA	AFECTADA POR FRENTE DE CARBONATACIÓN	ENSAYO A COMPRESION
1	N3	COLUMNA	A6 (H,10)	28	17.36	-
2	N1	VIGA AEREA	A5 (I, (8-9))	25	15.5	-
3	NO SE TOMO	VIGA PLACA	A5 ((H-I),(7,8))	20	12.4	-
4	N2	VIGA CIMENTACION	A6 (I, 9)	36	21.6	33.1
5	N5	COLUMNA	A4 (K,(8-9))	25	15.5	-
6	N4	VIGA CIMENTACION	A4 ((J-K),(8-9))	24	14.88	19.7
7	N8	COLUMNA	A7 ((K-L),6)	25	15.5	9.3
8	N9	COLUMNA	A7 ((I-J),3)	34	20.4	21.5
9	N10	VIGA AEREA	A7 ((H-I),3)	-	-	28.5

De acuerdo con los resultados de los ensayos a compresión de las muestras de concreto, observamos valores bajos y altos de resistencia, no alcanzando el mínimo exigido por el reglamento NSR-10 que es de 21 Mpa.

Las columnas tienen una resistencia aproximada de 15.4 MPa (se toma los resultados de los ensayos realizados a las columnas y se divide por la cantidad de datos para calcular su promedio), lo cual se puede concluir que el concreto no es estructural, debido a que un concreto para que se considere estructural debe tener una resistencia igual o mayor a 17.5Mpa.

Las vigas tienen una resistencia aproximada de 27.1 MPa (se toma los resultados de los ensayos realizados a las vigas y se divide por la cantidad de datos para calcular su promedio).

5.5.2. Calificación del estado actual del sistema estructural

Debe calificarse el estado del sistema estructural de una manera totalmente cualitativa con base en la calidad del diseño y construcción de la estructura original y en su estado actual (Cámara Industrial de Cerámica Roja (CICER)).

La calificación de la estructura se define en términos de la mejor tecnología existente en la época en que se construyó la edificación, así como registros de interventoría de la construcción y ensayos realizados especialmente para tal fin (Tique, 2005).


- **Calidad del diseño y la construcción de la estructura original**


Dentro de la calificación debe tenerse en cuenta el potencial de mal comportamiento de la edificación debido a distribución irregular de la masa o la rigidez, ausencia de diafragmas, anclajes, amarres y otros elementos necesarios para garantizar un buen comportamiento de ella ante las distintas sollicitaciones. La calidad del diseño y la construcción de la estructura original se califican como DEFICIENTE.


- **Estado de la Estructura**


Debe hacerse una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, basada en los siguientes aspectos: sismos que la puedan haber afectado, fisuración por cambios de temperatura, corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual.

El estado de la estructura existente se califica como DEFICIENTE según las patologías identificadas, las cuales se presentan en las siguientes fichas de clasificación e identificación de lesiones en la estructura.

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS					FICHA No.		
					1 / 5		
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión					
Cimentación		Física		Mecánica		Química	
Pisos y acabados		Humedad		Grieta	X	Oxidación	
Muro en mampostería	X	Suciedad		Fisura		Corrosión	
Columnas		Erosión física		Deformación	X	Organismos	
Vigas				Desprendimiento		Eflorescencia	
Cubierta							
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión			
Grieta diagonal en el muro de mampostería por asentamientos diferenciales.							
Descripción de la Causa de la Lesión							
Se presenta una grieta diagonales en el muro de mampostería, la grieta diagonal en el muro se debe probablemente a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo de tensión, se puede clasificar como NDTC .							

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS					FICHA No.		
					1 / 5		
Elemento Afectado		Tipología de la Lesión					
Cimentación		Física		Mecánica		Química	
Pisos y acabados		Humedad		Grieta	X	Oxidación	
Muro en mampostería	X	Suciedad		Fisura		Corrosión	
Columnas		Erosión física		Deformación	X	Organismos	
Vigas				Desprendimiento		Eflorescencia	
Cubierta							
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión			
Grieta horizontal en el muro de mampostería por asentamientos diferenciales.							
Descripción de la Causa de la Lesión							
Se presenta una grieta horizontal en el muro de mampostería, que puede ser causada por el desplazamiento diferencial de la cimentación. La grieta horizontal en el muro se debe probablemente a un giro presentado en la cimentación, por lo tanto presenta un esfuerzo de tensión, se puede clasificar como NDTC .							

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS						FICHA No.	
						1 / 5	
Elemento Afectado			Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química	
Cimentación							
Pisos y acabados	X	Humedad	X	Grieta		Oxidación	
Muro en mampostería		Suciedad	X	Fisura		Corrosión	
Columnas		Erosión física	X	Deformación		Organismos	
Vigas				Desprendimiento	X	Eflorescencia	
Cubierta	X						
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión			
Humedad en la cubierta debido a la infiltración de agua.							
Descripción de la Causa de la Lesión							
Se presenta humedad en el cielo raso de la cubierta, debido a la infiltración del agua causado por la falta de impermeabilización en la cubierta.							

FICHA DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LESIONES EN ESTRUCTURAS						FICHA No.	
						1 / 5	
Elemento Afectado			Tipología de la Lesión				
		Física		Mecánica		Química	
Cimentación							
Pisos y acabados	X	Humedad		Grieta	X	Oxidación	
Muro en mampostería	X	Suciedad	X	Fisura	X	Corrosión	
Columnas		Erosión física		Deformación		Organismos	
Vigas				Desprendimiento	X	Eflorescencia	
Cubierta							
Descripción del Elemento Afectado				Fotografía identificando la Lesión			
Grietas y desprendimientos de los acabados debido a deformaciones de la estructura.							
Descripción de la Causa de la Lesión							
Se presenta deterioro en las baterías sanitarias, evidenciado en la fotografía las grietas horizontales, fisuración de los acabados debido a la propagación de grietas en los muros de mampostería, producidos por la deformación de la estructura.							

5.5.3. Determinación de las solicitaciones (Cargas)

En este numeral se describen las principales cargas y criterios de cargas usadas para el análisis de la estructura, de acuerdo con el Título B de las NSR-10. Las cargas para el análisis y verificaciones del diseño estructural corresponden al peso propio de los elementos y sobre cargas permanentes, de esta forma se tiene:

- **Cargas muertas**

La carga muerta será de: Cubierta liviana 1.0 kN/m^2

- **Cargas Vivas**

La carga muerta será de: Cubierta liviana 0.5 kN/m^2

- **Fuerzas sísmicas**

De acuerdo con el uso de la estructura, se define grupo de uso I, de ocupación normal, para efectos de determinar las cargas sísmicas de diseño. Se usará el análisis modal basado en el espectro de diseño para evaluar los efectos sísmicos en la estructura, de acuerdo con lo establecido en la norma NSR-10. A continuación se describe la información utilizada para la aplicación de este.

Localización, Nivel de Amenaza Sísmica y Valor de A_a y A_v

Localización: Cúcuta, Norte de Santander, Colombia

Zona de amenaza sísmica: Alta

Tabla A.2.3-2 NSR-10

Coefficiente de aceleración pico efectiva, $A_a = 0.35$

Tabla A.2.3-2 NSR-10

Coefficiente de velocidad pico efectiva, $A_v = 0.30$

Tabla A.2.3-2 NSR-10

Definición de los Movimientos Sísmicos de Diseño

Perfil del suelo = D

Tabla A.2.4-1 NSR-10

Coefficiente de Amplificación, $F_a = 1.15$

Figura A.2.4-1 NSR-10

Coefficiente de Amplificación, $F_v = 1.8$

Figura A.2.4-2 NSR-10

Estructura = De ocupación normal

Grupo de uso = I

A.2.5.1 NSR-10

Coefficiente de importancia $I = 1.00$

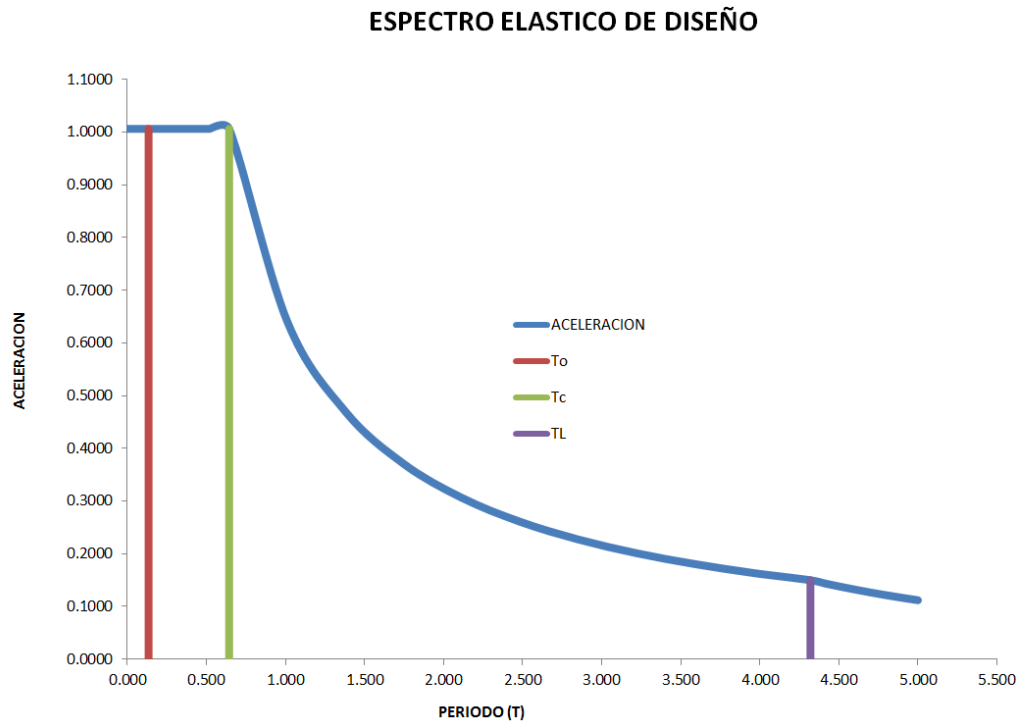
Tabla A.2.5-1 NSR-10

Características de la Estructuración y el Material Estructural Empleado

Sistema estructural: Muros de mampostería no reforzada

Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico: DMI

Coefficiente de disipación de Energía Básico, $R_o = 1.0$



El cálculo de la fuerza sísmica se realiza mediante un análisis modal usando el espectro de diseño como se definió previamente.

5.5.4. Criterios para el Análisis y Diseño de la Estructura

La estructura se modelará y se analizará mediante el programa de análisis estructural por elementos finitos ETABS, por medio de elementos tipo Shell, teniendo en cuenta todas las disposiciones geométricas y de cargas del proyecto, así como los requisitos según la gobernabilidad estructural y según las normas aplicables.

Las combinaciones de carga se consultan en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, título B.

El chequeo de la resistencia de los elementos de concreto reforzado se realizará por el método de la resistencia última, cumpliendo todos los requisitos exigidos por la NSR-10.

El análisis se hará para los casos más críticos de los resultados de todas y cada una de las combinaciones de carga estudiadas. Para las placas, esto significa los máximos momentos tanto negativos como positivos. Para los muros se consideran las parejas de carga axial y momento.

- **Resistencia existente de los elementos**

Según el numeral A.10.4.3.3 del Reglamento, la resistencia existente de los elementos de la estructura, debe ser determinada por el ingeniero que hace la evaluación con base en la información disponible y utilizando su mejor criterio y experiencia.

La resistencia se puede definir como:

El nivel de fuerza o esfuerzo al cual el elemento deja de responder en el rango elástico,

El nivel al cual los materiales frágiles llegan a su resistencia máxima,

El nivel al cual los materiales dúctiles inician su fluencia.

En general, la resistencia existente corresponde a los valores que se obtienen para cada material estructural al aplicar los modelos de resistencia que prescribe el reglamento en los títulos correspondientes.

- **Índices de sobreesfuerzo de los elementos estructurales**

Con el fin de realizar el estudio de la estructura existente se debe determinar si la edificación actual está en capacidad de resistir y comportarse de acuerdo a lo establecido en la NSR-10. De acuerdo con lo anterior y con el resultado del análisis, se obtienen los diferentes parámetros con los cuales se califica el grado de vulnerabilidad por medio del cálculo de la relación entre la demanda y

capacidad de la estructura, lo cual se define como la evaluación de los índices de sobreesfuerzo que se mencionan enseguida.

El índice de sobreesfuerzo de los elementos se refiere al índice de sobreesfuerzo de cada uno de los elementos estructurales individuales. Dicho índice se calcula comparando la resistencia efectiva que posee el elemento actual contra los nuevos esfuerzos que produce la aplicación de la fuerza sísmica bajo los criterios de las normas vigentes.

Debido a que aproximadamente el 80% de los muros de carga contienen fisuras considerables y que afecta directamente con la capacidad de soporte de cargas se determina que los elementos de la estructura fallarían ante las solicitaciones provocadas por las cargas verticales, teniendo en cuenta que las cargas corresponden a una edificación de un piso con cubierta liviana y con grado mínimo de disipación de energía DMI.

Igualmente, los muros de carga se encuentran vulnerables a sufrir daños que conlleven al colapso de la estructura durante un eventual evento sísmico, teniendo en cuenta que las cargas corresponden a una edificación de un piso con cubierta liviana y con grado Mínimo de disipación de energía DMI.

Referencias bibliográficas

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10* (Vol. Tomo 2). Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS. (2011). *Guía de Patologías Constructivas, Estructurales y No Estructurales*. Bogotá, Colombia: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá – FOPAE.
- Audell, H. S. (1996). Geotechnical nomenclature and classification system for crack patterns in buildings. *Environment and Engineering Geoscience*, II(2), 225-248.
- Cáceres, J. R. (2018). *Estudio de vulnerabilidad sísmica Hogas Infantil*. San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.
- Cáceres, J. R. (2019). *Informe de revisión y diagnóstico Estado actual Bodega Comercial DI*. Villa del Rosario, Norte de Santander, Colombia.
- Cáceres, J. R. (2019). *Informe de revisión y diagnóstico Estado actual Viviendas muro industrializado*. San José de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.
- Calavera Ruiz, J. (1990). *Tipología de fisuras en el hormigón armado*. Comisión de Cultura de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Las Palmas.
- Cámara Industrial de Cerámica Roja (CICER). (s.f.). *Patologías en mampostería de cerámica roja*. Buenos Aires: Cámara Industrial de Cerámica Roja (CICER).
- Carbonell de Masy, M. (1996). *Protección y reparación de estructuras de hormigón*. Barcelona: Ediciones Omega.
- Casas, L. (2004). *Metodología de evaluación de sistemas constructivos*. Cali: Universidad del Valle.

- Convenio interadministrativo No. 2271. (2017). *Elaboración de los estudios técnicos científicos para determinar las causas de las afectaciones y buscar alternativas de solución para la recuperación del CDI Cormoranes, Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander*. San José de Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander.
- Enciclopedia Brotón de Patología de la Construcción. (2006). *Recuperado de https://higieneysseguridadlabo0ralcvs.wordpress.com/2012/07/enciclopedia_broto_de_patologias_de_la_construccion.pdf*. España.
- García-Rogríguez, F. (2002). *Evaluación de estructuras de concreto en México*. México DF: Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto IMCYC.
- Helena, P. (2004). *Rehabilitación de estructuras de concreto*. Brasil.
- Liébana Ramos, M., & Álvarez Cabal, R. (2019). Patología en estructuras resueltas con elementos prefabricados de hormigón. *Hormigón y Acero*, 70(287), 31-46.
- Monjo Carrio, J. (1997). *Patología de Cerramientos y Acabados Arquitectónicos*. España: Munilla-Leria.
- Pérez, J. (1998). *Patología de estructuras de hormigón armado (Apuntes de clase)*. La Coruña: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de La Coruña. ETS España.
- Sánchez Trujillo, V., González Herrera, R., Castañeda Nolasco, G., García Lara, C., & Aguilar Carboney, J. (2019). Characterization of pathologies in housing structures. A case study in the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico. *Journal of Building Engineering*, 1-19. doi:10.1016/j.job.2019.01.014
- Tique, J. (2005). *Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Velasco, J. (2005). *Patología de piezas cerámicas de la construcción*. España.

Viviescas Restrepo, J. C. (2010). *Grietas en construcciones ocasionadas por problemas geotécnicos*. Medellín: Universidad EAFIT, Departamento de ingeniería civil.