



**Rehabilitación y mantenimiento de una edificación comercial ubicada en el barrio Sosiego,  
al sur de la ciudad de Bogotá D.C.**

**Yecenia Cardozo Romero**

Código

10481712085

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2021

**Rehabilitación y mantenimiento de una edificación comercial ubicada en el barrio  
Sosiego, al sur de la ciudad de Bogotá D.C.**

**Yecenia Cardozo Romero**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Civil**

Tutores:

Ing. Javier García Guerrero

Ing. Edison Osorio Bustamante

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2021

## Tabla de contenido

Resumen.....	7
1. Introducción .....	9
2. Marco conceptual.....	9
2.1 Causa de patologías .....	11
2.1.1 Lesiones causadas por daño .....	11
2.1.2 Lesiones causadas por defecto .....	13
2.1.3 Lesiones causadas por deterioro .....	14
2.2 Tipología de las lesiones.....	15
2.2.1 lesiones físicas .....	16
2.2.2 Lesiones mecánicas.....	18
2.2.3 Lesiones químicas .....	20
2.3 Intervención en las edificaciones .....	21
3. Estado del arte.....	22
4. Objetivos .....	31
4.1 Objetivo General.....	31
4.2 Objetivo Específico.....	31
5. Metodología.....	31
6. Análisis y Resultados .....	37
6.1 Información preliminar .....	37
6.2 Reconocimiento e identificación de los síntomas (pre diagnosis) .....	42
6.3 Investigación con instrumentación .....	49
6.4 Verificación de requisitos mínimos de construcción según el capítulo E de la NSR-10.....	53
6.4.1 Identificación del grupo de uso y zona de amenaza sísmica.....	53
6.4.1 Aspectos Geométricos .....	54
6.4.2 Aspectos constructivos.....	55
6.4.3 Aspecto estructural .....	57
6.4.4 Mantenimiento y seguridad .....	58
6.5 Método de diagnóstico y tipo de intervención .....	59
6.6 Mantenimiento .....	59

	3	
6.6.1 Muro 1 y Muro 3.....		59
6.6.2 Entrepiso fachada.....		61
6.6.3 Muro 2,4 y5.....		63
6.6.4 Techo segundo piso .....		65
7. Conclusiones y recomendaciones .....		72
8. Referencias.....		74
9. Anexos .....		77

**Lista de tablas**

Tabla 1 .....	33
Tabla 2 .....	36
Tabla 3 .....	43
Tabla 4 .....	44
Tabla 5 .....	45
Tabla 6 .....	46
Tabla 7 .....	47
Tabla 8 .....	48
Tabla 9 .....	49
Tabla 10 .....	50
Tabla 11 .....	51
Tabla 12 .....	51
Tabla 13 .....	52
Tabla 14 .....	54
Tabla 15 .....	56
Tabla 16 .....	57
Tabla 17 .....	58

**Lista de figuras**

Figura 1 .....	11
Figura 2 .....	12
Figura 3 .....	14
Figura 4 .....	17
Figura 5 .....	19
Figura 6 .....	20
Figura 7 .....	25
Figura 8 .....	26
Figura 9 .....	34
Figura 10 .....	39
Figura 11 .....	40
Figura 12 .....	41
Figura 13 .....	42
Figura 14 .....	56
Figura 15 .....	61
Figura 16 .....	62
Figura 17 .....	64
Figura 18 .....	66
Figura 19 .....	69
Figura 20 .....	70
Figura 21 .....	71

## Resumen

Dentro del proyecto de investigación, se localizó una serie de patologías en una edificación ubicada en el barrio Sosiego, al sur de la ciudad de Bogotá. La construcción se realizó alrededor de los años 80 y presenta actualmente lesiones relacionadas con humedades, erosiones y desprendimientos en los techos y muros en los dos pisos que conforman la vivienda; Estas patologías pueden afectar su sistema estructural; convirtiéndola vulnerable a nivel sísmico, aumentando el nivel de peligro de un posible derrumbe o colapso, por ende ¿Cuál sería la solución para rehabilitar la edificación comercial ubicada en el barrio Sosiego?, con el objetivo de lograr evaluar las patologías presentes y realizar un análisis de su vulnerabilidad estructural para realizar un diagnóstico para su rehabilitación que relacione los ámbitos social, económico y social para lograr un desarrollo sostenible del sistema. Para lograrlo, se realizará un reconocimiento e identificación de los síntomas presentes (pre diagnosis) de las patologías presentes, y con la ayuda de la norma sismo resistente (NSR-10) se evaluará su vulnerabilidad sísmica para elaborar el diagnóstico y propuesta de tratamiento.

*Palabras Clave: Patologías de la construcción, rehabilitación e intervención en edificaciones, vulnerabilidad, zona de amenaza sísmica.*

***Abstract***

*Within the research project, a series of pathologies were located in a building located in the Sosiego neighborhood, south of the city of Bogota. The building was built around the 80's and currently presents lesions related to humidity, erosions and detachments in the roofs and walls on the two floors that make up the house; these pathologies can affect its structural system; making it vulnerable to seismic level, increasing the level of danger of a possible collapse or collapse, therefore, what would be the solution to rehabilitate the commercial building located in the Sosiego neighborhood? With the objective of evaluating the present pathologies and analyzing its structural vulnerability in order to carry out a diagnosis for its rehabilitation that relates the social, economic and social spheres to achieve a sustainable development of the system. To achieve this, a recognition and identification of the present symptoms (pre-diagnosis) of the present pathologies will be carried out, and with the help of the seismic resistant standard (NSR-10) its seismic vulnerability will be evaluated to elaborate the diagnosis and treatment proposal.*

*Keywords: Construction pathologies, rehabilitation and intervention in buildings, vulnerability, seismic hazard zone.*

## **1. Introducción**

El estudio de las patologías en las edificaciones, es un tema de gran importancia de abarcar. Estas son comunes encontrarlas en materiales, elementos y estructuras; los cuales inciden varios factores como: cambios climáticos, exposición ambiental, diseño de materiales constructivos, sobrecarga, sismo, fuego entre otros, lo cual en las viviendas nuevas o construidas desde hace varios años pueden afectar su parte estructural (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, 2011), que influye principalmente en su nivel de seguridad, y vulnerabilidad sísmicas, Por ende, en el presente caso de estudio se investigara las patologías presentes para realizar un diagnóstico que permita rehabilitar y mantener la vivienda en condiciones adecuadas y aceptadas por norma sismo resistente (NSR-10).

## **2. Marco conceptual**

A la hora de inspeccionar una edificación, es importante conocer sus antecedentes, su estado, sus síntomas entre otros; por consiguiente, es pertinente conocer los términos o aspectos más relevantes con respecto al tema de intervención de obras, nos permitirá tener unas bases a la comprensión y realización de la intervención de la edificación de dos pisos ubicada en el barrio sosiego. Uno de los primeros pasos a comenzar, es detallar los síntomas de la edificación mediante el análisis de la observación, comenzando con sus patologías (Astorga & Rivero,).

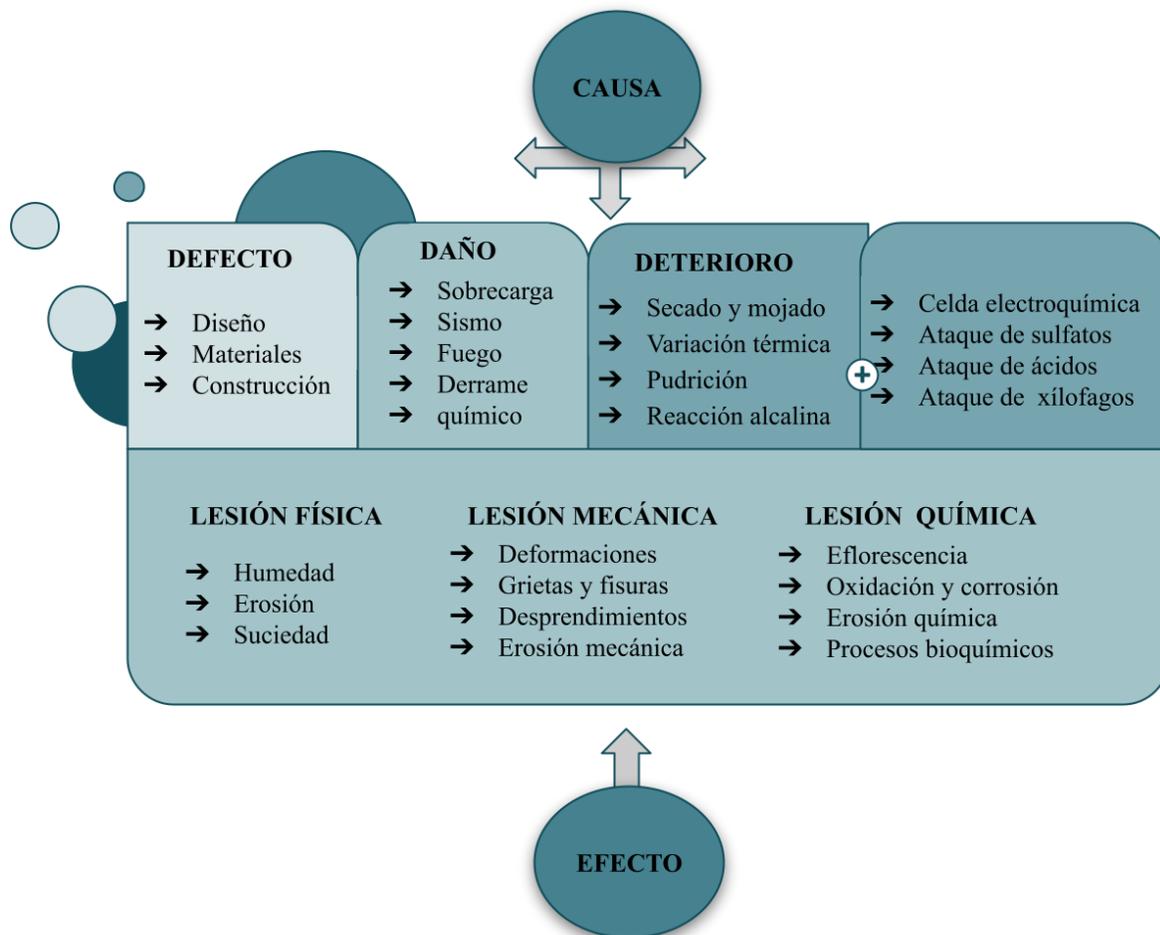
la palabra “patología” hace referencia a la manifestación de diversas lesiones que se encuentran en los elementos que conforman las edificaciones, también se puede definir como la ciencia que estudia las lesiones estructurales para analizar sus causas, orígenes y se propone un diagnóstico para su debido tratamiento o prevención, con el objetivo de recuperar las características y condiciones por las que fueron diseñadas (Broto, 2005, p. 31).Las patologías o lesiones se dividen en dos tipos, las primarias son las que aparecen en primer lugar debido a una

causa principal, en cambio la secundaria se puede manifestar por la aparición de la patología primaria, es decir, surge a partir de la primera lesión; por ende, es importante reconocer al momento de intervenir en la edificación que tipo de patología se está tratando, para poder intervenir conociendo el origen de su manifestación (Fiol Olivan, 2014, p. 16).

La inestabilidad de una edificación suele reflejarse a través de las patologías y se presentan desde daños leves que no se percatan, hasta daños considerables que son una de las fallas que pueden ocasionar el colapso de la edificación. Para determinar las diversas causas y orígenes es un tema complejo e inclusive dispendioso debido a las infinitas causas que pueden ocasionar una lesión; por ende, se subdividen las patologías en 3 causas: Defecto, daño y deterioro (Figura 1) para un mejor manejo del problema a estudiar (Astorga & Rivero, 2009).

**Figura 1**

*Causa y efecto de las lesiones estructurales*



*Nota.* Elaboración propia, tomado y modificado de Astorga & Rivero (2009)

## 2.1 Causa de patologías

### 2.1.1 Lesiones causadas por daño

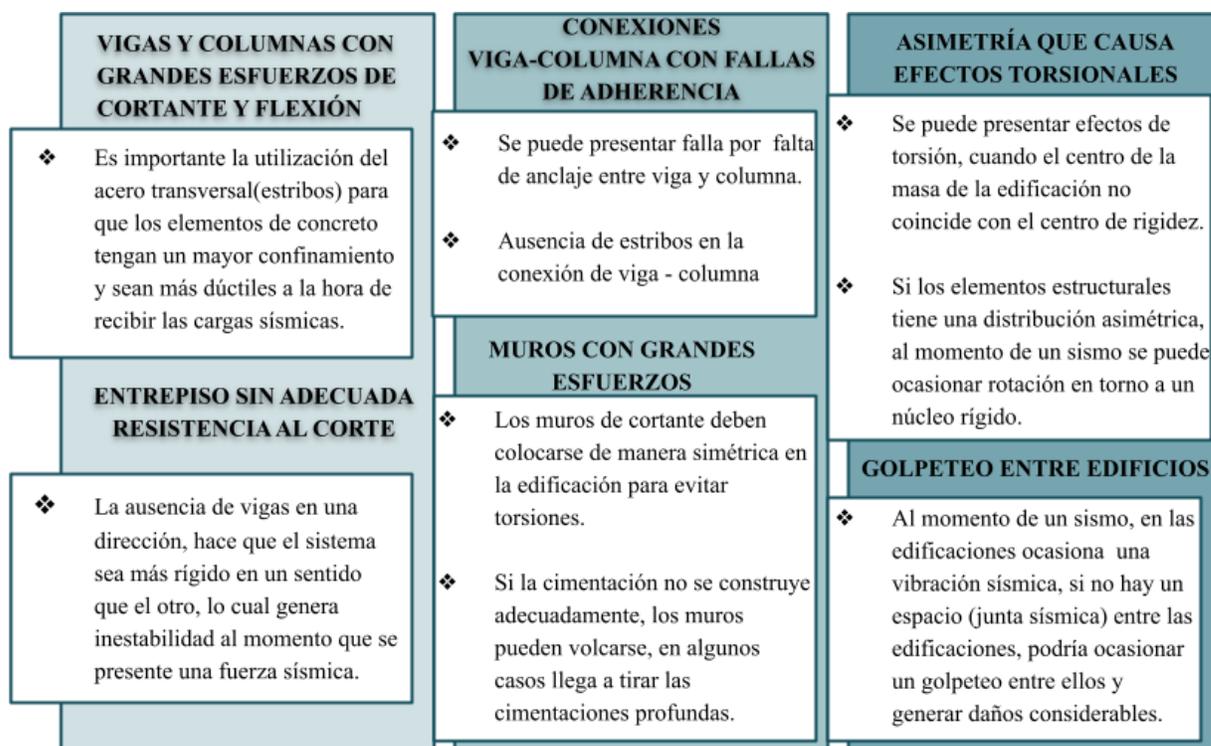
Están relacionadas con las fuerzas sísmicas que actúan en la edificación, siendo relevante los diseños sismo resistentes para evitar o disminuir el impacto de estas fuerzas que son en su mayoría eventos naturales como sismos, fuego, inundaciones entre otros, por ende, estos daños pueden ocurrir durante o después del evento, debido a que los esfuerzos que experimentan los materiales en el rango inelástico; disiparon su energía con deformaciones o con daños que

afectan al material y a la edificación (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, 2011, p. 68).

Los fallos que suceden en la estructura debido a estos eventos naturales, pueden deberse también a un inadecuado diseño o implementación de materiales inapropiados, a continuación, se presentan en la figura 2 las causas que generan los fallos en las edificaciones:

**Figura 2**

*Causas que generan fallos en las edificaciones*



*Nota.* Elaboración propia, tomado y modificado de Astorga & Rivero (2009).

Como se puede observar en la figura 2, el análisis de las causas posibles de una edificación se relaciona desde la parte de su construcción, se nombran las causa más comunes que se presentan .pero en realidad hay una infinidad de causas relacionado al tema sísmico,

como pueden ser: grandes esfuerzos por la presencia de columnas rotas, el tipo de terreno empleado, variaciones bruscas de rigidez a lo largo de la altura de la edificación entre otros (Astorga & Rivero, 2009).

### ***2.1.2 Lesiones causadas por defecto***

Las de efecto están relacionadas con los resultados ocasionados por una vivienda mal elaborada, lo cual incluye el empleo de materiales deficientes o inapropiados para la construcción, también en la fase de ejecución; que se hayan presentado incumplimientos a la normativa, errores en el replanteo o modificaciones imprevistas en el proyecto, con el tiempo estos errores podrían ocasionar vulnerabilidad en la infraestructura, llegando a ser inestable y peligrosa para las personas. Hoy en día es importante la construcción de viviendas con un sistema sismo resistente para garantizar que la estructura podrá, aparte de sostenerse; resistir las fuerzas sísmicas que ocurren frecuentemente y que son una de las primeras razones por las que colapsa los edificios, por ende, es importante contar con un personal certificado para elaborar cada uno de los procesos que conlleva ejecutar una construcción (Elguero, 2004), a parte de los errores ya nombrados, se presentan en la figura 3 otros más comunes ocurridos a la hora de construir; se considera también que estas falencias van relacionadas con el tipo de sistema estructural planteado, lo cual, es ideal es que la edificación sea lo más liviana posible, permitiendo disminuir las fuerzas de inercia; la construcción debe ser rígida, dúctil y lo más simétrica posible tanto en planta como en altura, también se debe evitar la combinación de elementos flexibles y rígidos, por ejemplo, la unión de estructuras metálicas con paredes de bloque de concreto, ocasiona una falla al momento de un sismo (Astorga & Rivero, 2009). Otros de los errores cometidos ocurre cuando hay una falencia en la fabricación del elemento, por lo tanto es imprescindible garantizar la entrega del material en estado correcto, cumpliendo

con los parámetros especificados, así evitando un desequilibrio en sus características físicas, mecánicas y químicas, en caso de que haya un error en la fabricación del material; será más propenso a sufrir una lesión o un fallo, por lo que afecta la durabilidad de este (Broto, 2005)

**Figura 3**

*Errores presentados en la fase de construcción*

ERRORES	DEFECTO Y DAÑO
VACIADO DEL CONCRETO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una vibración insuficiente, mezcla inadecuada y un curado defectuoso del concreto, ocasiona malformaciones de los elementos, permitiendo la aparición de grietas e infiltración de agua ocasionando humedad.</li> </ul>
CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS EN ACERO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si no hay una adecuada protección al acero y hay defectos en las uniones, se puede presentar la exposición de los refuerzos a agentes externos (agua, sol, lluvia) ocasionando lesiones químicas, lo cual genera una disminución de la resistencia del elemento.</li> </ul>
CONSTRUCCIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>La instalación de un anclaje inapropiado, es decir, puertas, ventanas no anclados correctamente a la estructura o se hacen perforaciones en vigas y columnas para instalar elementos, hace que disminuya la resistencia de los elementos estructurales, como también, deformaciones por el cambio de distribuciones de esfuerzo</li> </ul>
REPLANTEO DE LA OBRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>No hay una continuidad en la alineación de las columnas en todo el edificio, conlleva a cambios no deseados en la inercia y también disminuye la resistencia de los elementos.</li> </ul>

*Nota.* Adaptado de Astorga & Rivero (2009).

### **2.1.3 Lesiones causadas por deterioro**

Las causas de “deterioro” están relacionadas con los factores externos que inciden en el material, por ejemplo exposición, ciclos continuos de lluvia y sol, contacto con otras sustancias químicas presentes en el agua entre otros, que con el tiempo va debilitando la edificación, por lo cual es indispensable el mantenimiento periódico para evitar posibles daños inevitables de estos agentes atmosféricos que se propagan con el tiempo (Astorga & Rivero, 2009). También dentro

de esta categoría de “deterioro “se encuentran varios tipos de lesiones como humedades, filtraciones, agrietamiento, descascaramientos , variación de temperatura, humedad, asentamientos por la consolidación del terreno, como también la presencia de erosiones: las atmosféricas están relacionadas con los agentes externos que degradan los materiales, las erosiones mecánicas están relacionadas con el desprendimiento del material superficial debido a causas de rozamiento como eventos de vientos o esfuerzos mecánicos entre otras (Fiol Olivan, 2014). Teniendo en cuenta que estas patologías por deterioro se han presentado durante mucho tiempo, es más difícil determinar la causa de este, por lo que se ha perdido las condiciones iniciales de construcción y su equilibrio hídrico original, causando una variación higrotérmica en los elementos que componen la edificación (Garcia Morales, 1995, p. 19).

## **2.2 Tipología de las lesiones**

Los tipos de lesiones que se evidencia en las infraestructuras son numerosos, debido a los diferentes factores que inciden en ellos, ocasionando comportamientos diferentes en sus propiedades; por lo cual, para una mayor comprensión de las diferentes lesiones, se pueden dividir en tres grupos: lesiones químicas, físicas y mecánicas , permitiendo identificar una base para realizar el diagnóstico del proceso patológico, también se debe tener en cuenta que estas manifestaciones en algunos casos ocurren debido a las cualidades intrínsecas del material, lo cual se pueden dividir en dos grupos: las esenciales están relacionadas con las propiedades del material, como es su composición química, cristalina, forma, color entre otras, las cualidades circunstanciales están relacionadas en cómo los factores externos influyen en el comportamiento del material, donde se puede definir si sus cualidades tienen un comportamiento satisfactorio mediante estos agentes externos (Broto, 2005, p. 52).

### **2.2.1 lesiones físicas**

Está relacionada con los cambios físicos del material, lo cual altera sus moléculas, átomos e iones, afectando su forma, color, estado de humedad. También, la causa que lo produce es física, hay casos en los que el material vuelve a su forma original cuando el origen físico desaparece, Estas lesiones las podemos dividir en los siguientes grupos (ver figura 4), dependiendo de las variantes en la función del material, elemento, el uso del edificio etc. (Fiol Olivan, 2014, p. 18).

A parte de las causas ya nombradas anteriormente, se menciona en la figura 4 las causas que generan las lesiones físicas; empezando con la humedad, se puede definir como la presencia excesiva de agua en un material o lugar, lo cual afecta el estado hídrico original de este, una de las principales causas es:

**Humedad accidental:** Ocurre cuando no hay un mantenimiento preventivo a la edificación y aparecen daños puntuales que permite que ingrese el agua causando humedad (Fiol Olivan, 2014, p. 20).

**Humedad de condensación:** Ocurre en espacios cerrados ocasionando el paso de vapor a estado líquido cuando se presentan bajas temperaturas (Elguero, 2004, p. 20).

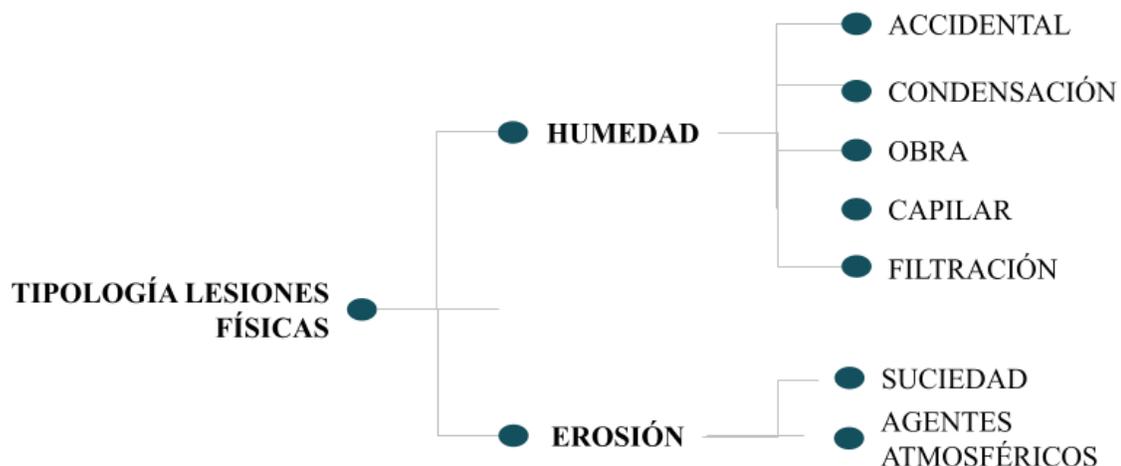
**Humedad por obra:** Está relacionada a la fase constructiva de la edificación donde se utilizó inadecuadamente el agua y causa de ello, altera las propiedades hídricas de los materiales, lo cual con el tiempo causa humedades (Broto, 2005, p. 62).

**Humedad por capilaridad:** Ocurre cuando desciende el agua a la edificación a través del terreno, a causa de la tensión superficial presente (Elguero, 2004, p. 14).

**Humedades por filtración:** Este proceso ocurre cuando el agua penetra los elementos constructivos desde la parte externa hasta llegar a la parte interna a través de grietas, fisuras, juntas entre otras (Fiol Olivan, 2014, p. 20).

**Figura 4**

*Tipología lesiones físicas*



*Nota.* Elaboración propia, tomado y modificado de Elguero (2004).

A través de los agentes atmosféricos, se puede ocasionar una alteración y degradación del material, este fenómeno se le conoce como erosión, estos agentes hacen referencia al agua, viento y sol. El agua se puede manifestar de diversas formas, lluvia, granizo o neblina, lo cual estos ciclos repetitivos generan degradación al material, en cuanto al sol, afecta los materiales debido a los cambios de temperatura, cambiando el volumen de los elementos causando fisuras o grietas y por último el viento, las fuerzas que generan arroja en las superficies de los elementos partículas que ocasionan un desgaste (Fiol Olivan, 2014, p. 21).

Los cambios drásticos del clima que se ha presentado a lo largo de los años, afectan considerablemente a las estructuras, debido a la concentración y el aumento de los gases de efecto invernadero; la temperatura y otros agentes atmosféricos van aumentando paulatinamente

por año, por ejemplo la temperatura media mundial aumento un 0,85 °c y las emisiones de dióxido de carbono han aumentado a un 50 % desde 1990; donde las ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) esperan que con la pandemia y a la reducción de la actividad humana, se reduzca alrededor de un 6 % la emisión de los gases para mejorar las condiciones climáticas, así mismo, por medio de la campaña Race, se generó una iniciativa para disminuir las emisiones de carbono, lo cual se pueda lograr cero emisiones para el 2050 («Cambio climático», s. f.). Si se cumple los objetivos propuestos, ayudara a reducir las lesiones de las infraestructuras, ya que al disminuir la contaminación atmosférica, evitaría la propagación de partículas que son los principales en causar una lesión física, como también se evitaría los cambios drásticos de temperatura y las variaciones de vientos, esta última, aparte de que actúa como agente mecánico, influye en la incidencia en la dirección agua de lluvia causando lesiones en la zonas exteriores de la vivienda como fachada o cubierta, así mismo, si se reduce los altos grados de humedad relativa, evitaría la presencia de vegetación que ocasionando fisuras, grietas u oxidaciones en la edificación (Elguero, 2004).

La suciedad se define como el depósito o acumulación de partículas concentradas en un material o lugar debido al aire atmosférico presente, se puede ocasionar en dos formas: la primera por depósito , es decir, por la fuerza de gravedad, y la otra forma es que quede suspendida la partícula dentro de un poro de un material, impidiendo su movimiento y con el tiempo al interactuar otros agentes atmosféricos, ocasiona degradación u hongos a los elementos (Broto, 2005, p. 84).

### ***2.2.2 Lesiones mecánicas***

Están ligadas a las fuerzas mecánicas que se ejercen en los elementos constructivos, dicha fuerza que no estaba prevista y es mayor a lo que pueden soportar los materiales, afectan su

resistencia y altera sus propiedades físicas, comienza desde fisuras o deformaciones y en caso extremo a la rotura del elemento, estas lesiones se dividen en tres grupos: deformaciones, grietas, fisuras y desprendimiento (ver figura 5)

La mayoría de estas lesiones aparecen frecuentemente en las edificaciones y algunas de estas se originan por una lesión previa, por ejemplo, los desprendimientos son causados por humedades, deformaciones, grietas o fisuras entre otros (Broto, 2005, p. 100).

**Figura 5**

*Tipología lesiones mecánicas*

LESIÓN	CLASIFICACIÓN
<b>DEFORMACIONES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Flechas ( flexión de elementos verticales)</li> <li>● Pandeos</li> <li>● Alabeos</li> <li>● Desplomes</li> </ul>
<b>GRIETAS Y FISURAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Microfisuras (aberturas pequeñas que no son visibles)</li> <li>● Grietas (aberturas de más del milímetro)</li> <li>● Fisuras (aberturas que tienen un ancho inferior al milímetro)</li> <li>● Fisuras muertas (sus dimensiones no varían a lo largo del tiempo)</li> <li>● Fisuras vivas (sus dimensiones varían a lo largo del tiempo)</li> </ul>
<b>DESPRENDIMIENTO</b>	<p>Afecta en :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pinturas</li> <li>● Acabados</li> <li>● Chapados</li> <li>● Alicatados entre otros</li> </ul>

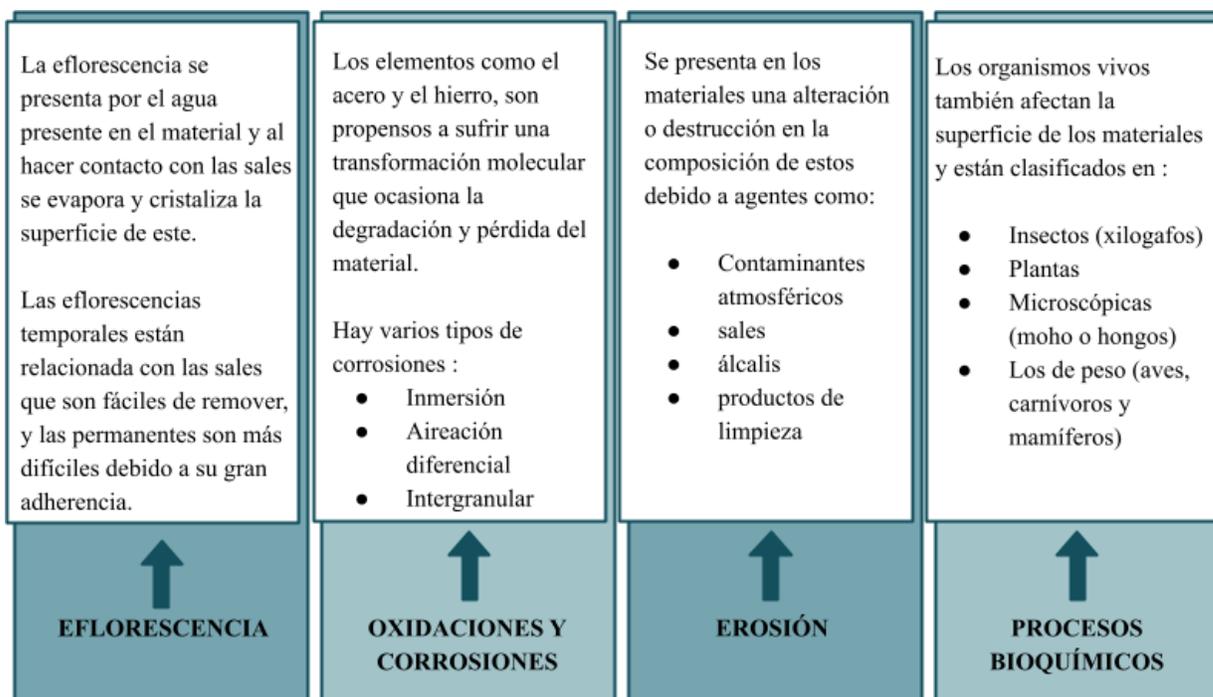
*Nota.* Elaboración propia, tomado y modificado de Astorga & Rivero (2009).

### 2.2.3 Lesiones químicas

Los materiales al estar expuesto a componentes químicos como sales, álcalis o ácidos, ocasionan una alteración en sus componentes, causando degradaciones o reacciones no deseadas al material, perdiendo notablemente su resistencia y durabilidad. Estas lesiones se pueden dividir en cuatro grupos (ver figura 6): Eflorescencia, oxidaciones y corrosiones, erosión y procesos bioquímicos (Elguero, 2004, p. 25). Los agentes químicos como las sales, son frecuentes en la mampostería, ya que estas sales son solubles con la presencia del agua, entre ellos encontramos el sulfato magnésico, sulfato sódico, sulfato cálcico, cloruro cálcico, carbonato cálcico, nitrato sódico, nitrato cálcico y nitrato potásico (Broto, 2005, p. 137).

**Figura 6**

#### *Tipología lesiones químicas*



*Nota.* Elaboración propia, tomado y modificado de Broto (2005).

### 2.3 Intervención en las edificaciones

Teniendo en claro la tipología de causa y efecto de las patologías, como también el análisis de la vulnerabilidad sísmica de la edificación, nos permite identificar en qué estado se encuentra la obra y se puede expresar en términos de su nivel de seguridad siguiendo la presente clasificación (Fiol Olivan, 2014, p. 15):

**Estado de confianza:** No hay riesgo

**Estado de precariedad:** Hay defectos, pero no ponen en peligro la estabilidad de la edificación.

**Estado de peligro:** Debido al estado de las patologías, la edificación está en un riesgo mayor.

**Estado de ruina física:** El estado actual de la edificación está en estado de alerta, lo cual podría colapsar.

Al realizar la intervención al sistema, se debe tener en cuenta el propósito o el objetivo a intervenir, y se puede clasificar en 3 tipos: rehabilitación, mantenimiento y conservación o restauración.

La rehabilitación de las edificaciones dentro del campo de la ingeniería civil se relaciona con la acción de restituir o habilitar las condiciones actuales que se encuentra la construcción, por medio de técnicas propias o nuevas tecnologías que permitan no solo repararlo o conservarlo, sino que ayudan a mejorarlo desde la parte funcional o estructural. En algunos casos se confunden los términos de conservación y rehabilitación; el primero hace referencia a la acción de restaurar las condiciones iniciales a las que fue construida la edificación, en cambio la rehabilitación está arraigada a la mejora o un cambio significativo para la estructura (Tejera Juez & Ortiz de la Torre, 2015, p. 4).

El término de mantenimiento está arraigado con el conjunto de acciones que se realiza periódicamente a las edificaciones para conservar sus propiedades, como la durabilidad y sus

capacidades funcionales (Aguilera Madruga, 2006, p. 19); por ende, es importante conocer que la vida útil de las edificaciones son entre 80 y 100 años pero disminuye si no se realiza el trabajo de mantenimiento (Téjela Juez et al., 2013, p. 14).

### **3. Estado del arte**

Las referencias consultadas se investigaron en la base de datos de la Universidad Antonio Nariño, donde se buscaron artículos relacionados con la rehabilitación de las edificaciones en base a su vulnerabilidad sísmica y patologías presentes, se encontraron aproximadamente 40 investigaciones en total, con base al tema de la ingeniería en las bases de datos de Scopus, ScienceDirect, Springer y Taylor & Francis, utilizando palabras clave como TITLE-ABS-KEY ( pathology AND building AND rehabilitation ) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) ).

Hay un mayor número de investigaciones asociadas con los estudios patológicos en los edificios antiguos que en los nuevos, ya que, por medio de los años, las patologías se propagan más fácilmente, debido a que las edificaciones pueden presentar una estructura débil y antigua o manejar técnicas de construcción inadecuadas (Cavalagli et al., 2019).

Los temas tratados en cada uno de las investigaciones se pueden agrupar en cuatro temáticas:

- Metodología implementada
- Implementación del desarrollo sostenible con tecnologías nuevas de rehabilitación
- Tecnologías nuevas de rehabilitación
- Intervención de edificaciones cuando fueron construidas antes de la implementación de la norma sismo resistente de cada país.

Los documentos encontrados dejan en evidencia que los síntomas presentes en las edificaciones se pueden dar por diversas causas, por ende, es primordial realizar estudios técnicos, físicos o químicos, como ensayos de laboratorio para determinar sus características o

estado actual, análisis estructurales con la ayuda de softwares entre otros; cuyo fin, permitan analizar, diagnosticar e intervenir en las edificaciones.

En todos los documentos encontrados, presentan una metodología en común, al comienzo de la investigación se realiza una recopilación de información previa e in situ, la información se obtiene por medio de los entes que construyeron la obra y se realiza una inspección y recopilación de datos en el lugar, luego se realiza un plan de pruebas: lo cual está relacionado con los cálculos y ensayos de laboratorio realizados, para posteriormente elaborar un análisis con los datos obtenidos y poder realizar un diagnóstico para formular las opciones de intervención. Este tipo de metodología es similar a la que se implementó en la investigación del edificio monumental italiano, el Palacio Consoli en Gubbio, donde se realizaron (1) una inspección preliminar del sitio, (2) estudio de daño y degradación, (3) desarrollo y calibración de modelos numéricos que predicen la respuesta estructural-térmica y (4) predicción de la degradación de los materiales teniendo en cuenta los cambios climáticos futuros, con el fin de evaluar los efectos producidos por el cambio climático, mediante un mapa jerárquico de escalonamiento que interpreta el nivel de severidad de la degradación de los materiales de la edificación; así mismo, permiten diseñar renovaciones adecuadas que tomen en cuenta nuevos materiales que hagan frente a las problemáticas causadas por el cambio climático, como son los factores causados por lluvias, erosiones y reducciones de la superficie (Cavalagli et al., 2019). La misma metodología se implementó en investigaciones relacionadas a casos de estudio en edificaciones antiguas, como en las viviendas del barrio de La Mina en Sant Adrià del Besòs (Barcelona) (Díaz et al., 2012), investigación realizada en el año 2012 utiliza ensayos de laboratorio como tensión de rotura a compresión estimada, límite elástico del acero, medida del estado de carbonatación del hormigón en muros y ensayo para determinar el contenido de

cloruros, todo con el fin de estimar las condiciones actuales de la edificación. Otro estudio de caso también implementa algunos de estos ensayos de laboratorio, como son los test simples de compresión y resistencia a la tracción con la recolecta de muestras de ocho casas y Ocho paredes divisorias de tierra de diferentes ubicaciones, con el fin de caracterizar el comportamiento mecánico del material (Silveira, et al., 2007). También hay otras investigaciones que no realizaron dispendiosos ensayos de laboratorio, como el caso de estudio de los muros de mampostería estructural de un edificio histórico tardo románico, en el año 2017, se implementó aparatos como el termómetro y el humidímetro para evaluar el estado de conservación de los elementos estructurales, en este caso para determinar el origen de la humedad presente en los muros (Raposo et al., 2017). También como método de análisis, se implementan softwares que ayudan en gran medida a analizar el comportamiento de la estructura frente a fuerzas que interactúan, como son las sísmicas, lo cual nos permite determinar las deformaciones que se puedan presentar o las derivas límite, teniendo en cuenta que la rama del análisis estructural está relacionada con análisis lineal y no lineal. En el año 2011 en Argentina, para el análisis de un edificio histórico de mampostería, se implementa el sistema PLAXIS VB 2005 para determinar por medio del método de elementos infinitos para una cimentación, los desplazamientos máximos que se pueden presentar bajo la acción sísmica e indican los sectores más vulnerables del edificio que coinciden con los sectores dañados en la actualidad, También el cálculo de elementos finitos lo utilizan en la modelación de la edificación para determinar el comportamiento no lineal de la albañilería, con el fin de verificar el desempeño estructural bajo distintas cargas y condiciones, la implementación de elementos finitos por medio del programa SAP2000, permite realizar el diseño y verificación de la propuesta de rehabilitación con diferentes elementos estructurales. Por ejemplo, la cubierta del techo se resuelve mediante

metálicos truss para soportar un marco de madera y caña, se utilizaron algunas placas y elementos de barra, considerando que estos simularán adecuadamente las apariencias estructurales de interés en el estudio (ver figura 8). Permitiendo determinar los efectos de torsión, el peso de la estructura y la cantidad de materiales empleados para la rehabilitación estructural. Es muy importante especificar que el modelo solo incluye los aspectos estructurales. Por otra parte, la misma investigación implementa ensayos de laboratorio como la prueba combinada de compresión y cizallamiento para la albañilería (ver figura 7), permitiendo determinar la cantidad de fuerza horizontal que un material puede soportar antes de llegar a su punto de rotura (Maldonado et al., 2011).

### **Figura 7**

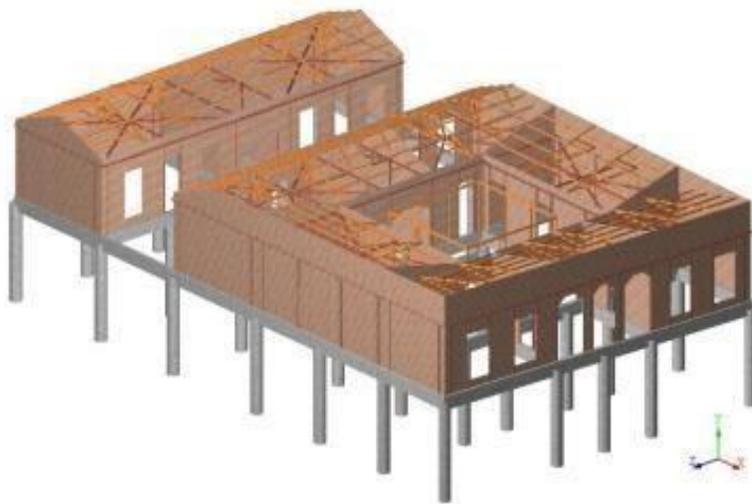
*Prueba combinada de compresión y cizallamiento de albañilería*



*Nota.* Tomado de Maldonado et al., (2011).

**Figura 8**

*Modelo estructural de rehabilitación por medio del programa (SAP2000)*



*Nota.* Tomado de doc. Maldonado et al., (2011).

Otro programa utilizado para evaluar el comportamiento de la solución de la estructura, fue por medio del programa REXEL 2.2 beta. Aplicado en el 2018 a una rehabilitación de un edificio escolar, utiliza un análisis estático no lineal para evaluar el comportamiento y la eficacia de la solución adaptada, lo cual se pudo evidenciar su mejora frente al tema sísmico; representado en términos de desplazamiento total del techo y de la estructura en general, logrando respetar el objetivo del 0,5% de deriva entre pisos y garantiza el comportamiento elástico del edificio (Labò et al., 2018). Vale la pena resaltar que la mayor parte de las investigaciones consultadas utilizan ensayos de laboratorio y software como métodos para determinar las características de los materiales y como están interactúan mediante el sistema estructural, permitiendo tener una interacción entre los análisis para determinar el origen del problema patológico o estructural, como también elaborar la propuesta de intervención y comprobar su comportamiento mediante estos métodos de análisis.

Hoy en día en las edificaciones se está realizando intervenciones que minimicen en lo posible las invasiones ambientales, como también buscar soluciones relacionadas con los costos más favorable y que permita rehabilitar adecuadamente la edificación, con el fin, de salvaguardar la vida de las personas, por ello la mayor parte de las investigaciones consultadas buscan intervenir en relación al desarrollo sostenible; en cuanto a reutilizar el material de la edificación o implementar tecnologías que no sean nocivas y permitan adoptar soluciones rentables de rehabilitación. Como es el caso de la investigación anteriormente nombrada de la edificación escolar construida en Italia, utiliza una tecnología nueva y sostenible con la ayuda de un exoesqueleto auto portante que adopta técnicas desmontables, que puede ser montado y activado en diferentes fases de la vida útil del edificio. Esta investigación también utiliza un método de rehabilitación incremental, es una técnica que permite planificar las acciones de reparación e intervención, sin que los costos iniciales o la interrupción funcional se vean afectados en aquellos casos en que las edificaciones están destinadas para la atención a la comunidad, como son los colegios, hospitales, museos entre otros, la idea es realizar intervenciones en intervalos de tiempo que sean de menor actividad comercial para evitar pérdidas económicas, Este concepto fue aplicado en la edificación escolar, el parque inmobiliario italiano y los edificios italianos y europeos presentes. Mostrando resultados favorables, ya que permite realizar la necesidad urgente de renovación con la aceptación de los propietarios, debido a que se hacen menores intervenciones en tiempos prolongados, sin afectar la economía de los propietarios y aumentando la seguridad de la estructura (Labò et al., 2018). También hay la implementación de estructuras de acero como solución a la intervención; en este caso, se utiliza edificios neoclásicos de la ciudad de Veria, la implementación de los elementos de acero sirven como refuerzo y ampliación de la edificación, con el fin de combinar el crecimiento económico, el progreso social y la

protección efectiva del medio ambiente, Las formas en que una solución de diseño de la estructura de acero aborda estas cuestiones, se combinan no sólo con el proceso de construcción ( prefabricación, seguridad, minimización de residuos, etc.), sino también, con la ampliación de la vida útil del edificio. La selección de una estructura de acero permite lograr un alto nivel de sostenibilidad en la rehabilitación, ya que tiene una mayor velocidad de construcción, menor costo económico y presenta características favorables; como su flexibilidad de diseño y resistencia estructural, permitiendo realizar procesos de reciclaje del material, al poder desarmarse e instalarse en otros sistemas estructurales (Efthimiadou et al., 2017).

En cuanto a nuevas técnicas para enfrentar la aparición de las patologías presentes en las edificaciones, no hay un gran número de investigaciones que las implemente; ya que, gran parte de ellas utilizan varias alternativas existentes para elaborar un análisis y escoger la más favorable en términos económicos. Hay una investigación realizada en el año 2019, que utiliza una nueva técnica para controlar y en lo posible eliminar la humedad presente en los muros de mampostería, realizando diseños de bloques de mampostería de arcilla cocida con rellenos de aislamiento térmico contra el deterioro higrotérmico, donde los últimos años se ha investigado que dependiendo de la cantidad relativa de aislamiento térmico, puede diferir en el comportamiento de la construcción de la edificación, donde pueden aparecer problemas de deterioro en los materiales que conforman los muros de mampostería, haciéndola más propensa a padecer patologías como es la humedad, donde la solución del aislamiento térmico mejora su rendimiento térmico (Nagy, 2019). Se ha presentado también otra técnica para el tratamiento de la humedad ascendente en edificios antiguos; y es la ventilación de la base de las paredes. En Portugal se ha desarrollado y patentado esta nueva técnica, lo cual consiste en ventilar la pared por medio de ventilación natural o mecánica higrregulado, ayudando a evitar y disminuir

la elevación capilar del agua. La investigación comenzó con un experimento que simuló el comportamiento de muros enterrados con la aparición de humedad ascendente, debido a que dieron buenos resultados, se implementó en varias iglesias de Portugal (Torres, 2018).

Las edificaciones que fueron construidas antes de la implementación de la normativa sismo resistente, fueron diseñadas sin estudios previos de suelo, lo cual son sistemas que tienen altos riesgos de vulnerabilidad sísmica, este caso no solo es aplicado en Colombia, sino también, hay investigaciones que relacionan la intervención en edificaciones construidas empíricamente en países como México, España e Italia. En el caso de México, en el estado de Chiapas; se evidencia por medio de un estudio cualitativo, la presencia de 56 viviendas construidas empíricamente, lo cual no cumplían los requisitos mínimos legislativos y técnicos en los procesos de construcción, así mismo, presenta el uso de muros de muy baja densidad para reducir los espacios y lograr un importante ahorro en el producto final. Sin embargo, esto se refleja en un cambio abrupto en la densidad de los muros en la planta baja que aumentaría la vulnerabilidad ante eventos sísmicos. Este cambio en las configuraciones arquitectónicas hace que el edificio no sea apto para soportar fuerzas dinámicas, aumentando el riesgo de colapso de la estructura. En cuanto a las viviendas construidas legalmente se registraron 172, las cuales a lo largo del tiempo los propietarios implementaron modificaciones tanto en su uso como ampliaciones del lugar, ocasionando vulnerabilidad en sus elementos al no haber realizado estudios previos que puedan comprobar la seguridad de estos al momento de modificar la vivienda original (Trujillo et al., 2019). En el caso de Colombia, especialmente en Bogotá siendo clasificada como una zona de amenaza sísmica intermedia, las edificaciones que fueron construidas antes del 1998 y que se clasificaron como uso indispensable para la atención a la comunidad, deben ser evaluadas frente al tema sísmico, debido a que gran parte de ellas se

construyeron sin reglamento técnico y estructural; por ende, la presente investigación evalúa un hospital con base al reglamento Colombiano de construcción sismo resistente y el documento de la Federal Emergency Management Agency (FEMA-310); para evaluar e identificar si la edificación cumple con los parámetros establecidos, lo cual se evidenció que ante la ocurrencia de un terremoto, el sistema estructural de algunas de las edificaciones del complejo hospitalario no tendría la capacidad suficiente para soportar las sollicitaciones sísmicas. Esto implica que la estructura no puede ser ocupada inmediatamente después del terremoto, así mismo, también se destacan los altos índices de esfuerzos cortantes encontrados en las estructuras con entrepisos en sistema reticular celular. Estos esfuerzos pueden inducir fallas por punzonamiento en la (Amézquita et al., 2004).

Teniendo en cuenta la literatura encontrada, se puede concluir que gran parte de los estudios de caso emplean la misma metodología para realizar la intervención en la edificación, lo cual se implementan ensayos de laboratorio o modelación por medio de softwares que ayudan a identificar el estado actual de las estructuras; por ende, en el proyecto de investigación que se realizará en la vivienda de dos pisos ubicada en el barrio Sosiego de Bogotá, se emplea el mismo procedimiento. Se hará la recolección de datos in situ y se implementará instrumentos que permitan obtener información de la vivienda, como son la cámara térmica y el higrómetro, así mismo, se emplea el programa de AUTOCAD para elaborar el plano arquitectónico de la edificación y permitir evaluarla frente al tema sísmico. También se evidenció que el desarrollo sostenible juega un papel importante a la hora de intervenir en los edificios, por ende, en el proyecto de investigación también se buscará una intervención que no perjudique al medio ambiente y que sea económicamente favorable para ayudar al desarrollo social.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo General

- Evaluar las patologías y vulnerabilidad sísmica de una edificación ubicada en el barrio Sosiego, al sur de la ciudad de Bogotá, con el fin de realizar un diagnóstico para su rehabilitación y mantenimiento

### 4.2 Objetivo Específico

- Registrar y analizar los datos de temperatura y humedad obtenidos en las secciones de la vivienda que presentan humedad.
- Analizar y evaluar los posibles resultados de causas y efecto de las patologías mediante la técnica de árbol de decisiones.

## 5. Metodología

El método de trabajo para diagnosticar las lesiones e identificar la vulnerabilidad sísmica actual de la edificación consiste en los siguientes pasos:

1. Información preliminar
2. Reconocimiento e identificación de los síntomas (pre diagnosis)
3. Investigación con instrumentación
4. Verificación de requisitos mínimos de construcción según el capítulo E de la NSR-10
  - 4.1. Identificación del grupo de uso y zona de amenaza sísmica:
  - 4.2. Aspectos Geométricos
  - 4.3. Aspectos constructivos
  - 4.4. Aspecto estructural
  - 4.5. Mantenimiento y seguridad
5. Método de diagnóstico y tipo de intervención

## Información preliminar

Recopilar y estudiar información existente de la edificación, con relación a:

- Información recopilada por el propietario actual de la vivienda, obteniendo información del diseño original, posibles causas naturales que hayan afectado a la estructura y modificaciones en el tipo de uso y diseño arquitectónico realizados a la vivienda.
- Descripción de la zona de estudio: Se investiga e identifica el espacio climático, es decir, definir características de temperatura y variaciones ambientales que ha tenido Bogotá con relación al caso de estudio; así mismo, reconocer el entorno espacial, realizando una descripción del entorno urbano de la zona de estudio.
- Se realiza el plano estructural por medio del programa de AUTOCAD, permitiendo identificar a detalle las dimensiones de cada elemento visto en planta.

Para el diseño del plano se realiza los siguientes pasos:

1. Se identifica por medio de la observación, la edificación en general a levantar
2. Por medio de un metro, lápiz y papel; se traza el primer piso empezando por la fachada hasta llegar a la parte trasera, tomando medidas de objetos, vanos o cual elemento que conforma la vista en planta y frontal en cada una de las áreas, Estos datos se plasman en un bosquejo en un block de notas.
3. Por medio del programa de AUTOCAD, se traza el plano con la información obtenida en campo.
4. Teniendo los planos frontales de la fachada y vista en planta del primer y segundo piso, se procede a trazar los ejes y cotas entre elementos, permitiendo organizar e identificar cada una de las dimensiones de la vivienda

### **Reconocimiento e identificación de los síntomas (pre diagnóstico)**

Se realizará una inspección al lugar para detectar la presencia de lesiones, por medio de información básica como la observación; permitiendo detectar los defectos aparentes con ayuda de una linterna, lupa, pie de rey, cámara fotográfica y cinta métrica. La información recopilada se plasma en una ficha técnica que describe la ubicación, descripción aparente de la patología, nombre de la lesión y registro fotográfico.

**Tabla 1**

*Ficha técnica de lesiones*

<b>Lesión (Nombre de la patología)</b>	<b>Ubicación</b>
<b>Descripción</b>	

*Nota.* Elaboración propia

### **Investigación con instrumentación**

Se realiza una inspección más profunda sobre las características de las lesiones, por medio de dispositivos que ofrece la Universidad Antonio Nariño. Se utilizará la cámara térmica FLIR ONE para analizar la temperatura presente en las secciones de la vivienda, así mismo, se contará con un higrómetro digital calibrado para medir la temperatura y humedad atmosférica, El registro se realizó durante siete días, comenzando desde el catorce (14) hasta el diecinueve (19)

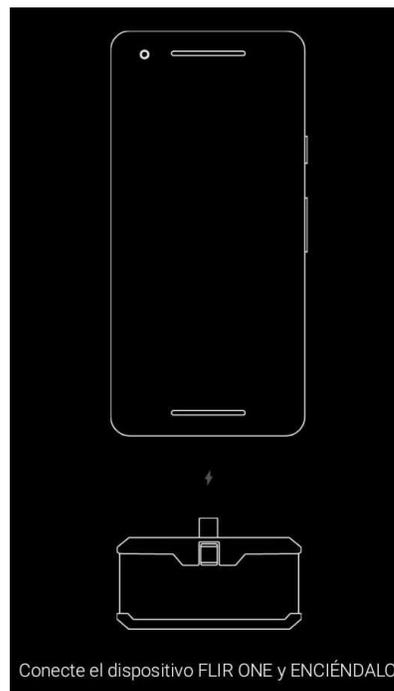
de septiembre del año 2021, con el fin de tener un registro diario de los datos y obtener un resultado promedio.

Para la implementación de la cámara se procede a realizar los siguientes pasos:

1. Descargar en la play store del dispositivo móvil la aplicación FLIR One
2. Conectar la cámara térmica al celular por medio de la entrada tipo c del dispositivo móvil y encenderlo (ver figura 9)

### Figura 9

*Procedimiento de conexión de cámara al dispositivo móvil*



*Nota.* Elaboración propia

3. Con la cámara térmica encendida, la aplicación nos permite tomar videos o fotos de las lesiones, registrándose por medio de emisiones infrarrojas los lugares con mayor (color rojo a amarillo) o menor temperatura (color azul).
4. Configurar la aplicación para tomar registros de temperatura en C°

5. Para tomar datos de temperatura, la aplicación permite tomar un máximo de cuatro puntos: dos puntos son los de mayor y menores temperaturas visualizadas en la imagen y los otros dos puntos se escogen en el lugar donde se desea realizar el registro.

### **Verificación de requisitos mínimos de construcción según el capítulo E de la NSR-10**

Por medio del capítulo A, se identifica el grupo de uso y zona de amenaza sísmica; y mediante el capítulo E, se realiza la verificación constructiva de la vivienda, teniendo en cuenta:

**Aspectos geométricos:** Se analiza su geometría, uniformidad con el uso de materiales, continuidad en altura y tipo de topografía presente

**Aspectos constructivos:** verificación de la calidad de las juntas de pega del mortero, disposición de las unidades de mampostería, espesor mínimo de muros, dimensiones de áreas de circulación (escaleras), entrepiso y características de las aberturas.

**Seguridad y mantenimiento:** Identificar si a lo largo de la vida útil de la vivienda se han realizado mantenimiento a las lesiones, así mismo, identificar la seguridad de la vivienda.

Teniendo en cuenta los aspectos evaluados por medio del título E, se procede a analizar el grado de vulnerabilidad sísmica por medio de la siguiente tabla:

**Tabla 2***Grado de vulnerabilidad sísmica*

Componente	Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
<b>Aspecto Geométrico</b>			
• Geometría			
• Resistencia			
• Continuidad en altura			
• Entorno			
<b>Aspectos Constructivos</b>			
• Calidad de las juntas de pega del mortero			
• Disposición de las unidades de mampostería			
• Espesor mínimo de muros			
• Dimensiones de circulación (Escaleras)			
<b>Aspectos Estructurales</b>			
• Muros divisorios			
• Características de las aberturas			
• Entrepiso			
<b>Clasificación global de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda</b>			

*Nota.* Elaboración propia

## **Método de diagnóstico y tipo de intervención**

Teniendo en cuenta toda la información recopilada y análisis realizados, se procede a diseñar “árboles de decisión” que permiten analizar y evaluar los posibles resultados de causas y efecto de las patologías, con el fin de elaborar el método de intervención óptimo para la edificación, tomando a consideración que las soluciones garanticen seguridad a la vivienda al momento de un sismo, como lo establece la NRS-10.

## **6. Análisis y Resultados**

### **6.1 Información preliminar**

La vivienda se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, en la Av. Primera de mayo #8-21 sur en el barrio Sosiego con coordenadas: 4°34'27.657" N, 74°05' 35.612" W, fue construida aproximadamente en el año 1980 y su construcción fue destinada para el uso habitacional. En cuanto al sistema estructural es de muros de carga, empleando un sistema tradicional de muros de mampostería no reforzada y entrepisos con losa maciza, la cubierta también está empleada por una losa maciza y por encima tiene un tejado de Eternit. A lo largo del tiempo, se han realizado modificaciones estructurales y del uso original, en el primer piso se modificó para ser de uso comercial, implementando muros divisorios en la parte trasera e instalando en la fachada un espacio para la instalación de reja enrollable de metal, como también en el voladizo de la fachada, en el entrepiso del segundo piso; se instaló el letrero comercial de aproximadamente de 6 m x 90 cm. En cuanto al segundo piso, se utiliza como bodega para equipos electrónicos y se ha realizado una modificación en los muros perimetrales de la cocina; se destruyó gran parte del muro para conectar el segundo piso con la vivienda colindante.

Según la información obtenida por el propietario, la edificación es muy antigua; por ende, no cuenta con información de su parte estructural y de su cimentación, así mismo, fue

construida de forma empírica, no se realizaron ensayos en los materiales, pero si se realizó análisis de suelo, que a la fecha no está disponible la información, como también, no se tuvo en cuenta los requisitos técnicos que solicita el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, debido a que en ese tiempo no existía el presente reglamento, sino hasta el año 1984 por medio del decreto 1400, se expidió el primer reglamento por parte del Gobierno Nacional, después la primera actualización fue la NSR-98, expedida por el decreto 33 de 1998 y luego su segunda actualización en el 2010, por medio del decreto 926 se expidió la NSR-10 (García, 2015). La edificación no contó con el diseño de los requisitos mínimos para resistir las fuerzas sísmicas causadas por los sismos fuertes, con el fin de salvaguardar las vidas humanas.

En cuanto al entorno climático y urbano en que se encuentra la edificación, Bogotá se caracteriza por tener climas variables que presentan en su mayor parte climas fríos y secos, pero a lo largo de los años se ha presentado una variación climática a causa de los gases de efecto invernadero; que ha ocasionado aumento de temperaturas hasta 0,5 °c durante el fenómeno del niño y la niña (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2014), lo cuales, desde la construcción de la vivienda (aproximadamente en 1980) la temperatura promedio ha sido de 13 °c; y a lo largo del tiempo ha incrementado el valor hasta el día de hoy en 14 °c; y para los siguientes 30 años se espera el incremento de esta temperatura. En cuanto a la humedad relativa; se ha presentado alta, teniendo una oscilación entre 60% y 80 % (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2018). Estas variaciones climáticas afectan las propiedades de los elementos que componen las viviendas, al presentarse variaciones en los agentes atmosféricos que deterioren o degraden los elementos. En cuanto al entorno en el que se encuentra la edificación, esta ubicada en una zona urbana al frente de la avenida primera de mayo, las edificaciones colindantes son de 2 a 3 pisos de altura y alrededor presenta poca

presencia de zonas verdes, presentándose zona de árboles, arbusto y pasto en la mediana de la avenida (ver figura 10).

### Figura 10

*Entorno urbano de la zona de estudio*



*Nota.* Fotografía tomada en Google Maps (coordenadas 4°34'27.657" N, 74°05' 35.612" W).

Como parte de la información preliminar se realizó el plano arquitectónico actual de la vivienda, por medio del programa de AUTOCAD, se trazó la vista en planta del primer y segundo piso y vista frontal de la fachada. En el primer piso cuenta con un baño, cocina y el resto de espacio está destinada para bodega, sala de inyectología y área de dispensación, cuenta con un área total de 39,53 m<sup>2</sup>, también se identifican dos columnas de 15 x 15 cm en el eje 2 y dos columnas de 20 x 20 cm en el eje 5 (ver figura 11). En cuanto al segundo piso, tiene baño, cocina y dos habitaciones, con un área total de 45,23 m<sup>2</sup> (ver figura 12), así mismo, en el respectivo plano se identificó y señaló las patologías relacionadas con humedades, erosión y desprendimiento en los dos pisos y en la fachada, contando con un total de siete lesiones.

Figura 11

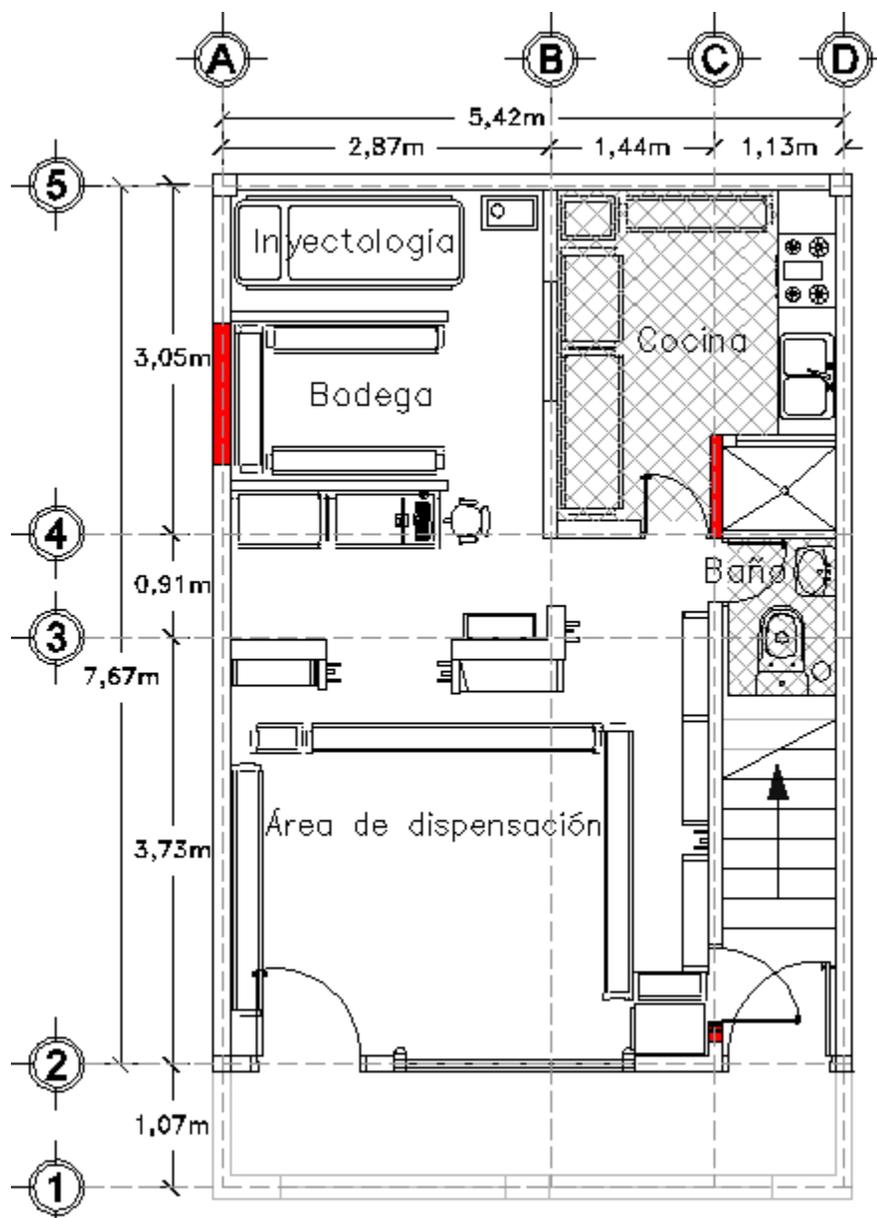
*Plano en planta primer piso**Nota. Elaboración propia*

Figura 12

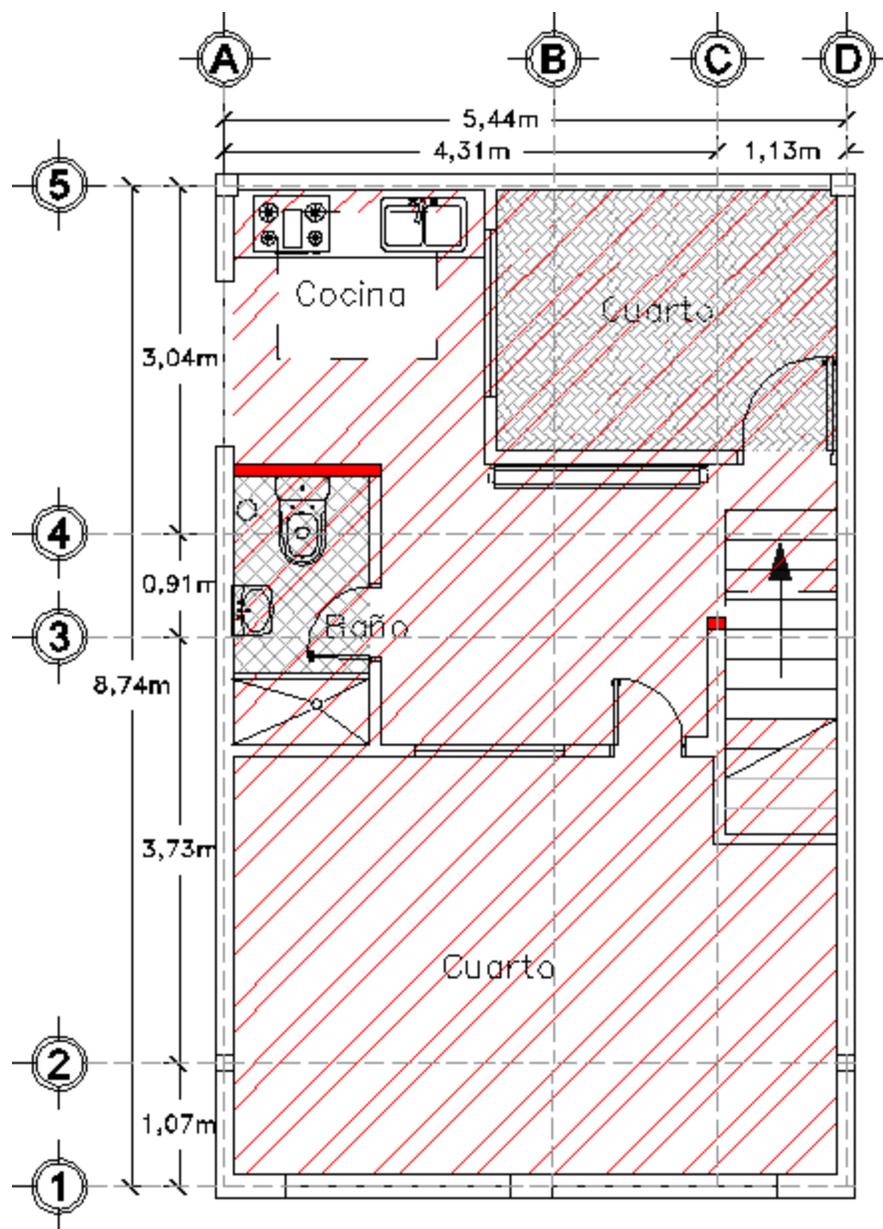
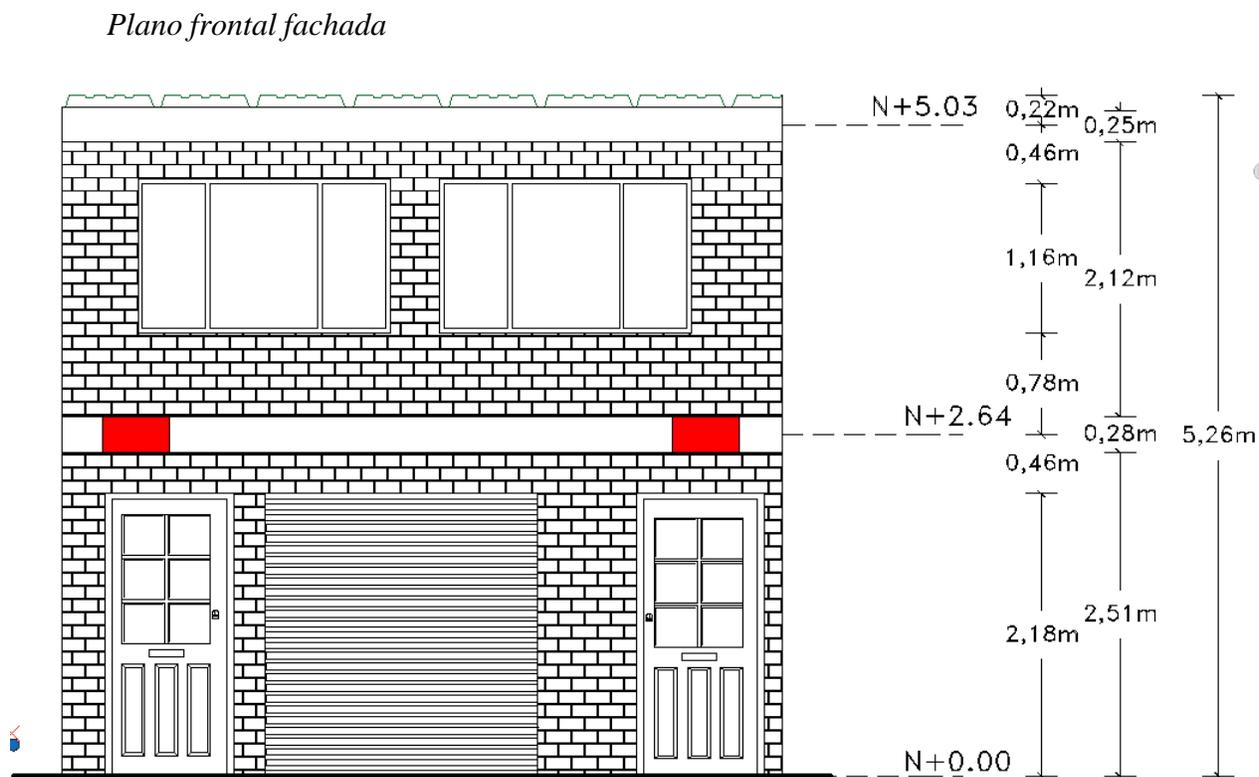
*Plano en planta segundo piso**Nota. Elaboración propia*

Figura 13

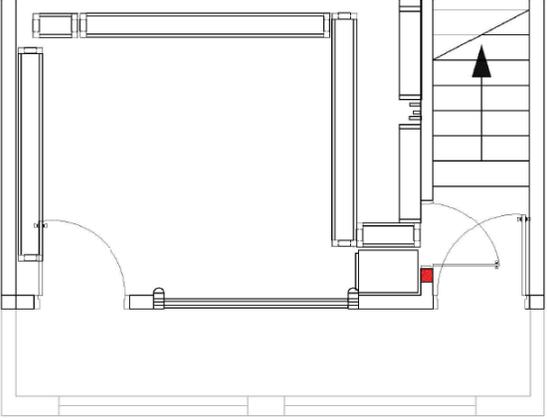


*Nota.* Elaboración propia

## 6.2 Reconocimiento e identificación de los síntomas (pre diagnosis)

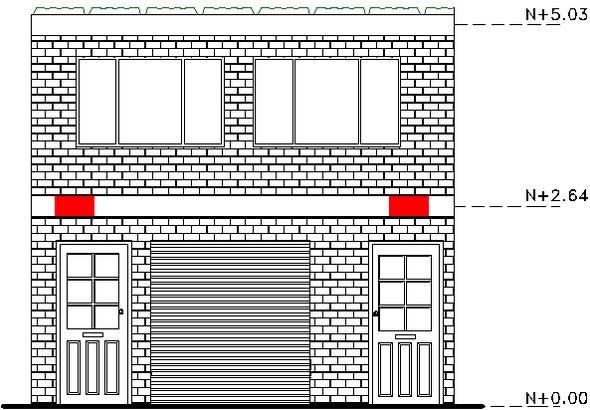
El reporte de las lesiones se realiza con base en la observación detallada en campo, el registro de las siete lesiones se realizó el día siete (7) de septiembre del 2021, comenzando desde el primer piso hasta llegar a la cubierta; y se presenta su información en forma de ficha técnica, donde se registra su ubicación, fotografía de la lesión y descripción de su estado actual (ver Anexo A).

**Tabla 3***Desprendimiento del material*

<b>Lesión (Muro 1)</b>	<b>Ubicación</b>
	 <p data-bbox="959 894 1284 926">Av. Primera de mayo</p> <p data-bbox="984 932 1260 963"><b>PLANTA PISO 1</b></p>
<p data-bbox="418 978 581 1010"><b>Descripción</b></p> <p data-bbox="217 1024 786 1140">Desprendimiento del ladrillo en la parte inferior del muro, presentando un descascaramiento y degradación del acabado</p>	<p data-bbox="829 978 1419 1094">Ubicado en los laterales del pasillo para subir al segundo piso, al lado del marco de la puerta que conecta el local comercial</p>

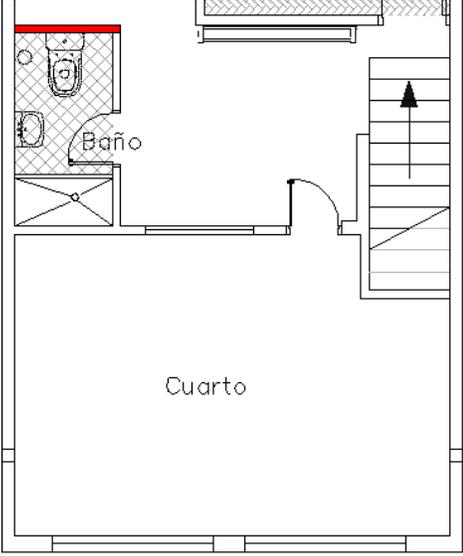
*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 4***Desprendimiento del material y fisuras*

<b>Lesión (Entrepiso fachada)</b>	<b>Ubicación</b>
	 <p style="text-align: center;"><b>FACHADA</b></p>
<b>Descripción</b>	<p>Fachada de la vivienda, ubicada en el entrepiso del voladizo del segundo piso</p>
<p>Desprendimiento del acabado y aparición de grietas de aproximadamente a 45 ° en los dos apoyos que sostienen el letrero, así mismo, está expuesto el refuerzo de acero a los agentes atmosféricos en uno de los apoyos.</p>	

*Nota.* Elaboración propia

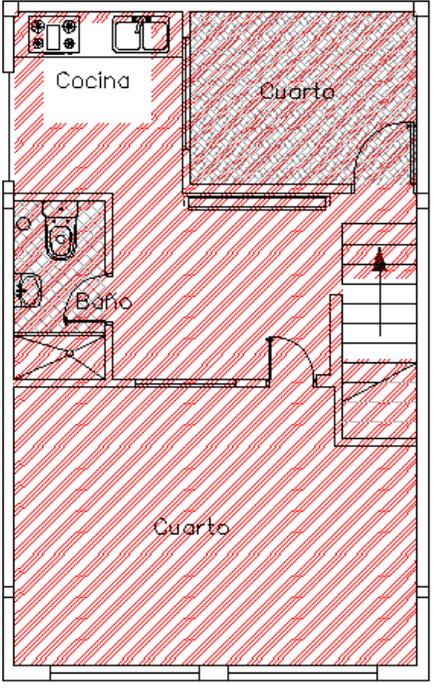
**Tabla 5***Humedad capilar*

<b>Lesión (Muro 2)</b>	<b>Ubicación</b>
	 <p data-bbox="1024 1024 1304 1087">Av. Primera de mayo <b>PLANTA PISO 2</b></p>
<p data-bbox="456 1098 618 1129"><b>Descripción</b></p>	
<p data-bbox="212 1142 867 1339">Humedad presente en la parte baja del muro, presentándose un descascaramiento de la pintura en toda su sección baja, también se presentan olores fuertes y nauseabundos provenientes de los sanitarios y humedad presente.</p>	<p data-bbox="915 1182 1403 1255">Segundo piso, ubicado en el muro que está detrás de la cisterna del baño</p>

*Nota.* Elaboración propia

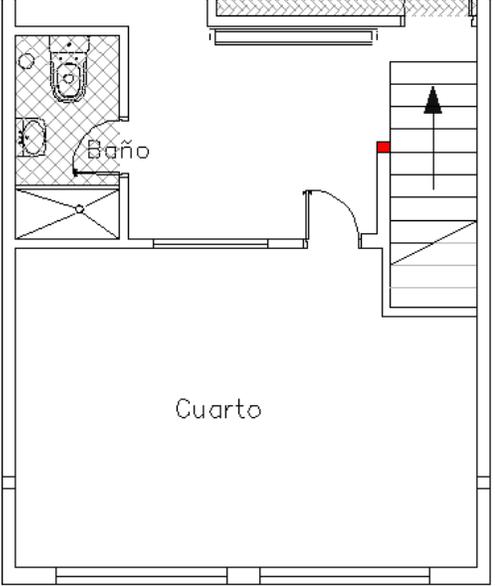
Tabla 6

*Humedad en el techo*

Lesión (Techo segundo piso)	Ubicación
	 <p data-bbox="1031 1155 1291 1218">Av. Primera de mayo <b>PLANTA PISO 2</b></p>
<p data-bbox="446 1234 625 1276"><b>Descripción</b></p>	
<p data-bbox="203 1312 860 1470">Humedad presente en la mayor área del techo, degradando el color de la pintura original a un tono color café. Lo cual genera un desprendimiento del acabado.</p>	<p data-bbox="1031 1312 1291 1354">Techo segundo piso</p>

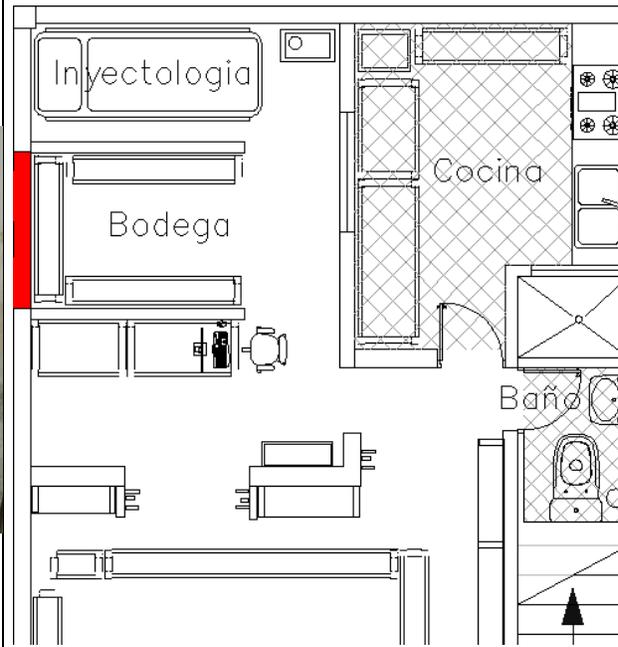
*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 7***Distribución inadecuada de los agregados*

<b>Lesión (muro 3)</b>	<b>Ubicación</b>
	 <p style="text-align: center;">Av. Primera de mayo <b>PLANTA PISO 2</b></p>
<b>Descripción</b>	
<p>Distribución inadecuada de los agregados que componen el elemento, lo cual en los espacios vacíos se acumulan residuos de suciedad que generan degradación de los materiales.</p>	<p>Segundo piso, ubicado en la parte lateral de las escaleras</p>

*Nota.* Elaboración propia

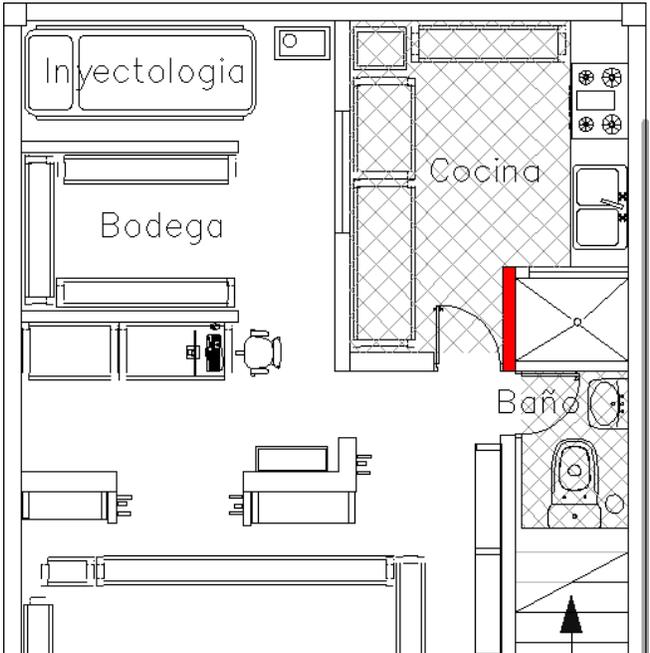
**Tabla 8***Humedad en muro*

Lesión (muro 4)	Ubicación
	
<p align="center"><b>Descripción</b></p>	<p align="center">Primer piso, muro colindante a la casa lateral de la vivienda</p>
<p>Presenta en la parte inferior una lesión más pronunciada, se escarapela la pintura formando manchas amarillas y negras lo cual va perdiendo el color blanco de la pintura original.</p>	

*Nota.* Elaboración propia

Tabla 9

*Humedad en muro*

Lesión (muro 5)	Ubicación
	
<p align="center"><b>Descripción</b></p>	
<p>En la parte inferior se escarpela la pintura formando manchas amarillas y negras, lo cual va perdiendo el color blanco de la pintura original. También se presenta un espacio de aproximadamente de 10 cm entre el piso y la parte inferior del muro.</p>	<p align="center">Primer piso, muro ubicado en la cocina del local comercial</p>

*Nota.* Elaboración propia

### 6.3 Investigación con instrumentación

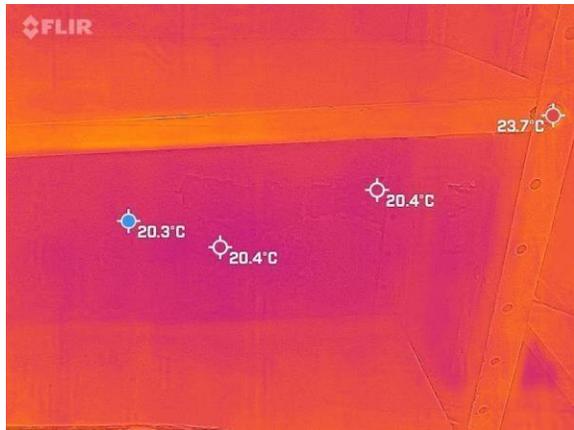
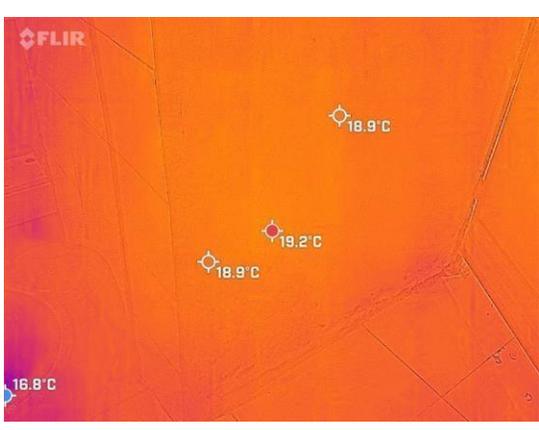
Una investigación más detallada para analizar las lesiones presentes, se realiza por medio de la cámara térmica (Flir One) para determinar la temperatura en diferentes puntos en que se encuentra la lesión en los elementos; y el higrómetro para obtener temperatura y humedad atmosférica. Este estudio se realizó durante siete días, comenzando desde el catorce (14) hasta el

diecinueve (19) de septiembre del año 2021, con el fin de tener un registro diario de los datos y obtener un resultado promedio como se puede observar en la tabla 12 y 13.

En la tabla 10 y 11, se evidencia algunas de las fotos térmicas tomadas durante el lapso de tiempo de los siete días, se toma cuatro puntos de temperatura; registrando la más alta, la más baja y dos puntos que son seleccionados.

**Tabla 10**

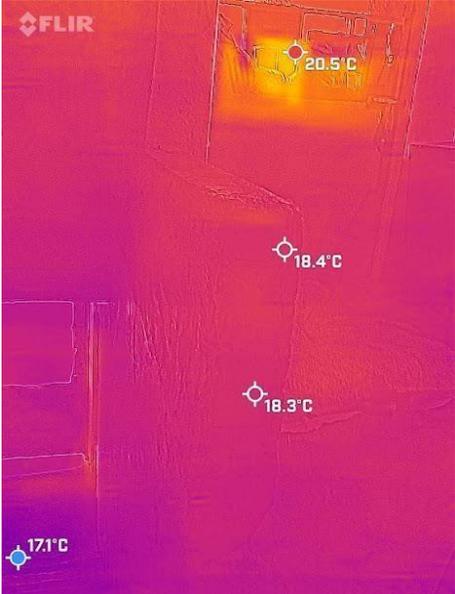
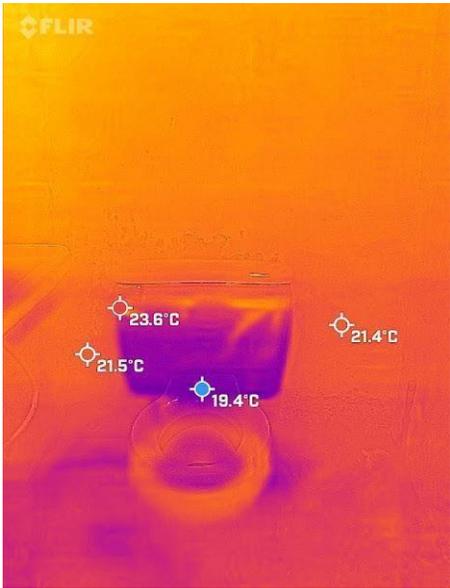
*Registro de temperatura del primer piso*

<b>Muro colindante a la casa lateral de la vivienda</b>	<b>Muro ubicado en la cocina del local comercial</b>
 <p>FLIR</p> <p>20.3°C</p> <p>20.4°C</p> <p>20.4°C</p> <p>23.7°C</p>	 <p>FLIR</p> <p>16.8°C</p> <p>18.9°C</p> <p>18.9°C</p> <p>19.2°C</p>

*Nota.* Registro realizado el día quince (15) de septiembre del 2021. Elaboración propia

**Tabla 11**

*Registro de temperatura del segundo piso*

<b>Muro ubicado en la parte lateral de las escaleras</b>	<b>Muro detrás de la cisterna del baño</b>
	

*Nota.* Registro realizado el día catorce (14) de septiembre del 2021. Elaboración propia

**Tabla 12**

*Registro de temperatura atmosférica (c°) y humedad relativa*

<b>Temperatura Atmosférica (c°)</b>						<b>Promedio Temperatura Atmosférica (c°)</b>
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	
17	17	17,5	16,5	17	17,5	17,1
<b>Humedad relativa (%)</b>						<b>Promedio Humedad relativa (%)</b>
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	
50	47	46	46	47	49	47,5

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 13**

*Registro de temperatura en cada uno de los elementos que presentan lesiones*

Elemento / Día	Temperatura (c°)												Promedio Temperatura (c°)
	1		2		3		4		5		6		
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	
<b>Muro 1</b>	21	21,2	22,6	19,4	19,6	21,5	18,5	18	19,8	19,9	20	21,2	20,2
<b>Muro 2</b>	21,4	21,5	23,6	19,4	24,4	18,6	18,3	19,3	19,2	19,5	18,5	18	20,1
<b>Muro 3</b>	18,3	18,4	20,5	17,1	22	21,8	23,8	21,6	19,4	19,4	18,9	21	20,2
<b>Muro 4</b>	21,1	20,9	20,7	21,9	20,4	22,1	23,7	20,8	18,9	18,5	18,6	18,8	20,5
<b>Muro 5</b>	21,2	21,2	20,8	22,5	19,1	19,3	19,1	16,3	18,9	19,2	18,9	18,8	19,6
<b>Techo segundo piso</b>	18	17,9	21,1	21,8	19,6	19,9	19,1	19,6	19,6	19,2	18,8	18,7	19,4
<b>Entrepiso Fachada</b>	22,3	22,5	21,2	22,4	19	19,4	22,4	23,3	22,5	22	18,8	19,2	21,3

*Nota.* Elaboración propia

La temperatura atmosférica registrada durante los seis días, no presenta grandes variaciones a comparación de los resultados tomados en cada uno de los elementos que presentan patologías, los puntos P1 y P2 tiene diferencias de temperatura a lo largo de los seis días, variando entre 2,6 c° - 6,7 c°, lo cual podría causar problemas de aumento de volumen en cada uno de los elementos, teniendo comportamientos de expansión en temperaturas altas o contracción en temperaturas bajas, generando agrietamientos o fisuras, en casos en que el área del elemento sea limitada; así mismo, degrada los materiales al cambiar sus características físicas y químicas, siendo propensos a presentar otra serie de lesiones (Broto, 2005).

La humedad relativa tiene un valor normal del 47, 5 %, para un rango entre 30% - 50% que debe tener la humedad en condiciones aceptables, Este valor no varía debido a que la temperatura atmosférica no presenta variaciones significativas, lo cual evita que haya mayor

humedad cuando hay altos niveles de temperatura; y en caso contrario, una menor humedad cuando hay bajos niveles de temperatura, en este estado se podría generar una condensación en la atmósfera que podría ser una causa para las patologías por humedad (García Morales, 1995).

#### **6.4 Verificación de requisitos mínimos de construcción según el capítulo E de la NSR-10**

##### ***6.4.1 Identificación del grupo de uso y zona de amenaza sísmica:***

Teniendo en cuenta las modificaciones con respecto al uso que se han realizado durante el tiempo a la edificación, el grupo de uso desde su construcción original como su estado actual siguen perteneciendo al grupo I según la NSR-10, siendo una estructura de ocupación normal, así mismo, la vivienda se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia al estar ubicada en la Ciudad de Bogotá (Tabla 14).

**Tabla 14**

*Zona de amenaza sísmica según la ciudad*

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia

*Nota.* Tomado del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2010).

Se verifica los requisitos mínimos de construcción en el capítulo E, para casas de uno y dos pisos que pertenecen al grupo de uso I, teniendo en cuenta que el sistema estructural de la vivienda emplea muros de mampostería no reforzada, se verifica su construcción en términos de su aspecto geométrico, constructivo, estructural, mantenimiento y seguridad

#### **6.4.1 Aspectos Geométricos**

- **Geometría:** la vivienda presenta una irregularidad en planta no muy pronunciada debido al voladizo, pero cumple con el requisito de simetría, ya que el largo es menor que tres veces el ancho (ver figura 12).
- **Resistencia:** la vivienda tiene una uniformidad con el uso de materiales empleados, lo cual permite preservar el equilibrio a la hora de un evento sísmico, los principales

materiales empleados son bloques de arcilla para muros, entrepiso y cubierta con losa de concreto y tejas de Eternit.

- **Continuidad en altura:** Presenta una discontinuidad en altura en los muros del primer y segundo piso, aumentando las fuerzas transmitidas del segundo piso al primero, lo cual no ayudarían a soportar las fuerzas sísmicas.
- **Entorno:** La topografía del lugar es relativamente plana ( $<20^\circ$ )

#### *6.4.2 Aspectos constructivos*

- **Calidad de las juntas de pega del mortero:** La calidad de las juntas de pega en mortero son de vulnerabilidad media, ya que el espesor del mortero de pega no es uniforme en toda la sección, siendo en unos casos mayores a 1,3 cm y en otros menores a 0,6, así mismo, en algunas secciones no presenta juntas verticales (ver Anexo B).
- **Disposición de las unidades de mampostería:** la mayoría de bloques presentan deterioro, agrietamiento y degradación, algunos de ellos no están puestos de forma uniforme y continúa (ver figura 14) (ver Anexo B).

**Figura 14**

*Disposición inadecuada de las unidades de mampostería*



*Nota.* Fuente: fotografía tomada en la calle 22 sur # 8-21

- **Espesor mínimo de muros:** El espesor mínimo nominal se establece en la tabla 15, en el primer y segundo piso tiene espesores mínimos entre 10 cm - 15 cm, cumpliendo los requerimientos de la norma (ver Anexo B).

**Tabla 15**

*Espesor mínimo de muros*

Zona de Amenaza Sísmica	Número de niveles de construcción		
	Un Piso	Dos Pisos	
		1º Nivel	2º Nivel
Alta	110	110	100
Intermedia	100	110	95
Baja	95	110	95

*Nota.* Fuente: Tomado del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2010).

- **Dimensiones de circulación (escaleras):** la huella tiene una longitud de 28 cm, cumpliendo con la distancia mínima, así mismo la contrahuella tiene una longitud de 11, 5 donde el mínimo requerido es de 10 cm (Magallon Gudillo, 2013, p. 11).

### 6.4.3 Aspecto estructural

- **Características de las aberturas:** las aberturas en cada uno de los muros no reforzados no sobrepasan el 35 % del área total del muro, pero la distancia del borde del muro al borde de la abertura, es menor a la longitud horizontal del vano o 50 cm.
- **Entrepiso:** el entrepiso y cubierta están uniformes y no presenta discontinuidad en la dirección vertical, lo cual trabajan monolíticamente al estar compuestos por los mismos materiales. En cuanto al espesor mínimo de losas (ver tabla 16), cumple con los requisitos mínimos con un espesor de 0,28 m y el mínimo constructivo es de 0,2 m (ver Anexo B).

**Tabla 16**

*Espesor mínimo de losa*

TIPO DE LOSA	CONDICIÓN DE APOYO		
	Simplemente apoyada	Un apoyo continuo	Continuo con voladizo
Maciza	L/20	L/24	L/10
Aligerada (Viguetas en una dirección)	L/16	L/18.5	L/8

*Nota.* Tomado del Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (2010)

- **Condición de apoyo:**

Simplemente apoyada:  $L/20$ ;  $3,95/20 = 0,197 m$

Un apoyo continuo:  $L/24$ ;  $3,73/24 = 0,155 m$

Continuo con voladizo:  $L/10$ ;  $1,07/10 = 0,107 m$

Altura constructiva = 0,2 m

- **Muros divisorios:** los muros divisorios están construidos en drywall y se encuentran anclados en la parte superior, inferior y lateral de los elementos estructurales como lo establece la norma título E.

#### 6.4.4 Mantenimiento y seguridad

A lo largo de la vida útil de la vivienda, los métodos de conservación y mantenimientos realizados a las lesiones no son las apropiadas, como: pintar las paredes, instalación de baldosas en los muros o aplicación de epoxicos, no realizan una solución de raíz para mitigar la patología, ya que alrededor de 2 a 3 meses, reaparece la lesión, como también, no se ha realizado verificación de la calidad de los materiales y el proceso constructivo. En cuanto a la parte de seguridad en instalaciones hidráulicas, cuenta con los registros de corte en baños y cocina.; en protección contra fuegos, el primer piso cuenta con extintor y la cocina no tiene materiales inflamables

Los aspectos geométricos, constructivos y estructurales se resumen en la siguiente tabla, Para valorar su vulnerabilidad sísmica, permitiendo determinar qué tan susceptible es la estructura en sufrir daños al momento de interactuar con fuerzas sísmicas.

**Tabla 17**

#### *Grado de vulnerabilidad sísmica*

Componente	Vulnerabilidad		
	Baja	Media	Alta
<b>Aspecto Geométrico</b>			
● Geometría	x		
● Resistencia	x		
● Continuidad en altura		x	
● Entorno	x		
<b>Aspectos Constructivos</b>			
● Calidad de las juntas de pega del mortero			x

● Disposición de las unidades de mampostería			x
● Espesor mínimo de muros		x	
● Dimensiones de circulación (Escaleras)	x		
<b>Aspectos Estructurales</b>			
● Muros divisorios	x		
● Características de las aberturas		x	
● Entrepiso	x		
<b>Clasificación global de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda</b>		x	

*Nota.* Elaboración propia

## 6.5 Método de diagnóstico y tipo de intervención

### 6.6 Mantenimiento

Por medio del método de árbol de decisiones, se procede a determinar la causa y efectos de las siete patologías presentes en la vivienda, para proponer un método de mantenimiento que permita mejorar las condiciones actuales y evitar a un futuro que se propague nuevamente.

#### 6.6.1 Muro 1 y Muro 3

En el caso del muro 1 (ver tabla 3) y muro 3 (ver tabla 7), las posibles causas del desprendimiento del material, se presenta por la preparación inadecuada del mortero, mala calidad de los materiales y la presencia de agentes atmosféricos que afectan las propiedades físicas y químicas del muro, causando una lesión mecánica relacionada al desprendimiento y erosión del ladrillo y del acabado (ver Figura 15).

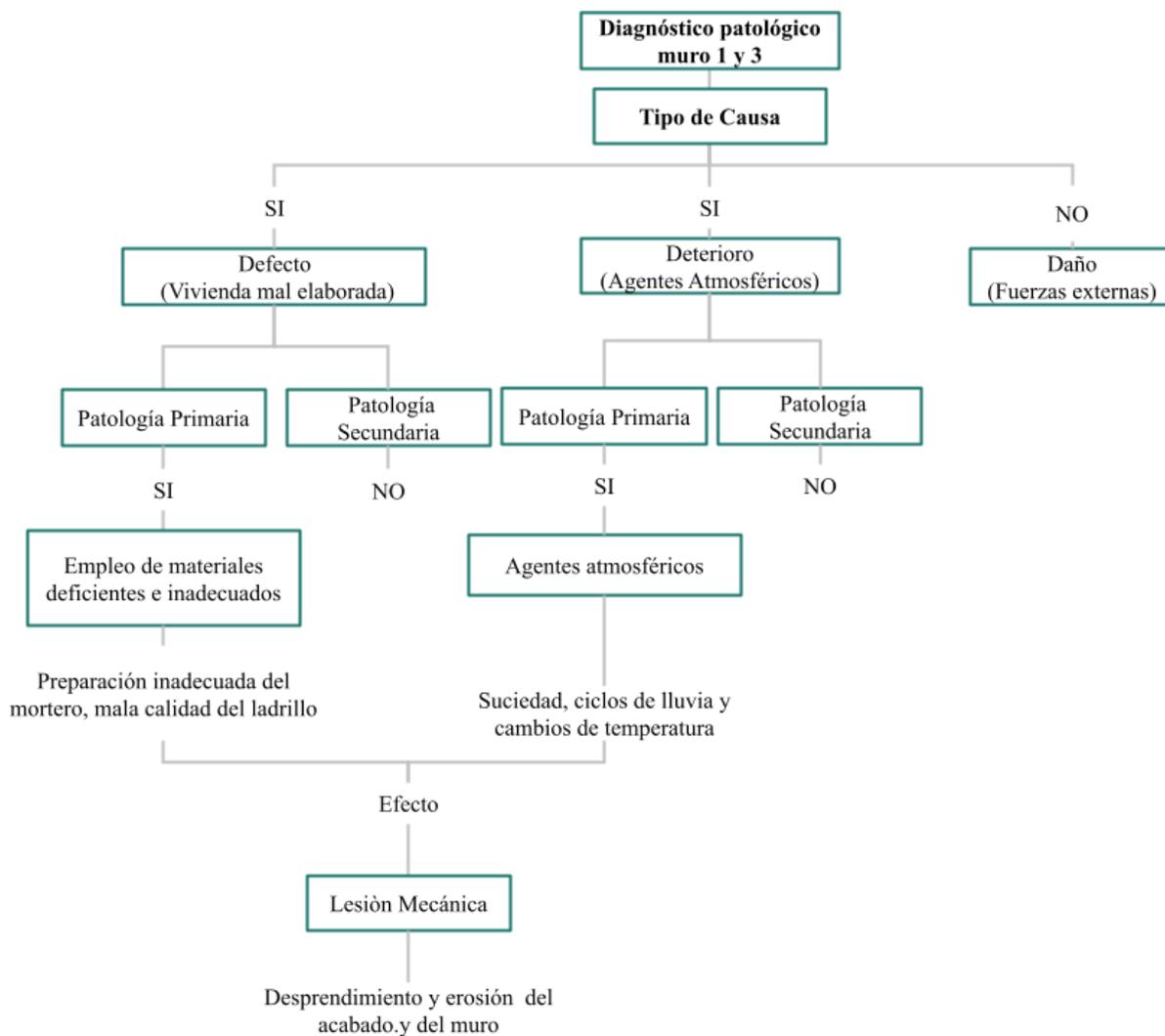
Un posible tratamiento es la reconstrucción total de los muros, teniendo en cuenta que son muros con una longitud menor a un metro, no contribuyen en resistir fuerzas de un sismo, permiten destruirlos en su totalidad al no ser de grandes dimensiones y reconstruirlos con

materiales de calidad, el mortero se debe preparar con una relación de 1:4 (cemento y arena), y se puede incorporar cal para mejorar su adherencia y trabajabilidad, con relación de 0,5 del volumen del concreto, Los bloques que se pueden utilizar son N° 4 o N° 5, al momento de construir el muro, se deben mojar para que tenga una mayor adherencia con el mortero (Magallon Gudillo, 2013, p. 11)

El proceso constructivo adecuado de un muro es el siguiente (EcoSur Network, 2018):

1. 30 minutos antes de empezar la mampostería, se debe mojar los ladrillos sumergiéndolos con un balde con agua
2. Fijar a plomo un tablero en la comuna de amarre del muro
3. Tender una piola de nivel
4. Colocar una hilada de ladrillo por vez, verificando que las juntas horizontales y verticales estén llenas de mortero y que tengan entre 10 a 15 mm de espesor.
5. Se verifica que el muro esté trabado, lo cual se debe intercalar las juntas verticales entre un  $\frac{1}{3}$  a  $\frac{1}{2}$  del ladrillo de abajo.
6. Terminado el muro se debe realizar un curado al mortero, por medio de una manguera se aplica regularmente agua durante una semana.

Figura 15

*Diagnóstico Muro 1*

*Nota.* Elaboración propia

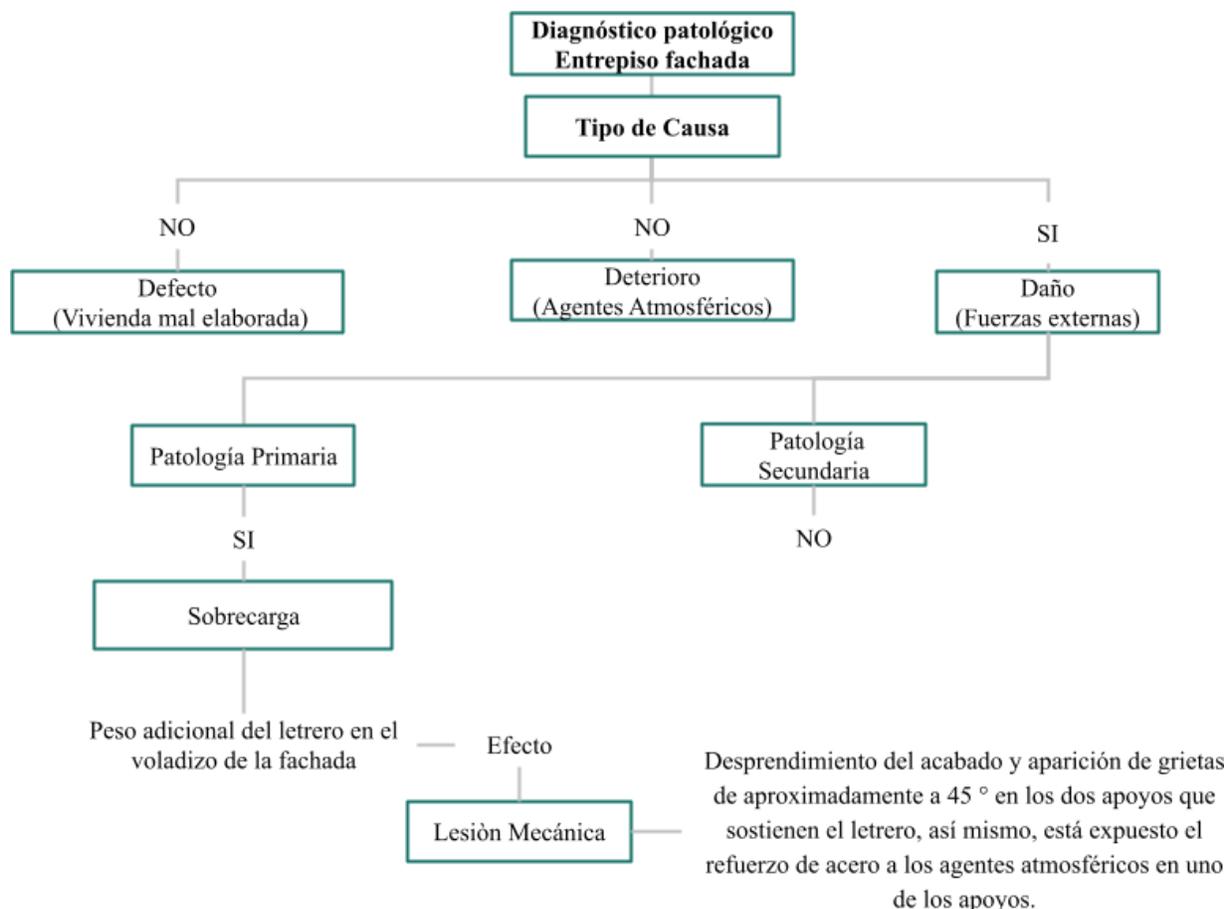
### 6.6.2 Entrepiso fachada

El letrero que está instalado en el entrepiso de la fachada (ver tabla 4), está perforada a la losa por medio de unos conectores, lo cual generó un daño significativo, causando un desprendimiento del concreto y quedó expuesto a los agentes atmosféricos el refuerzo; así mismo, a medida del tiempo este anclaje genera un deterioro paulatino por la carga excedente

que ha estado presente desde hace cinco años en la edificación, lo cual no se realizaron los análisis adecuados para verificar si el entrepiso puede soportar la carga del letrero, ya que la losa no cuenta con el refuerzo suficiente para soportar la carga.

**Figura 16**

*Entrepiso Fachada*



*Nota.* Elaboración propia

Como tratamiento, hay que evitar la instalación de elementos que generen una carga extra al entrepiso, es importante cubrir los desprendimientos ubicados en los apoyos que sostienen el

letrero, subsanando el material faltante por medio de rellenos de mortero especiales para la reparación de hormigones, siguiendo el presente proceso de reparación (Propamsa Sau, 2013):

1. Saneado del soporte: Eliminar mecánicamente el hormigón deteriorado hasta que esté limpio y firme de polvo por medio de un martillo, cincel y brocha.
2. Realizar una protección de la armadura, por medio de una brocha se cubre el acero con imprimación epoxi.
3. Se aplica otro epoxi por medio de una brocha o rodillo en toda el área a reparar, permitiendo que el epoxi sirva como puente de unión sobre el soporte.
4. Aplicación del mortero de reparación mientras el puente de unión se mantenga pegajoso.
5. Realizar curado del concreto recién aplicado
6. Acabado final de protección

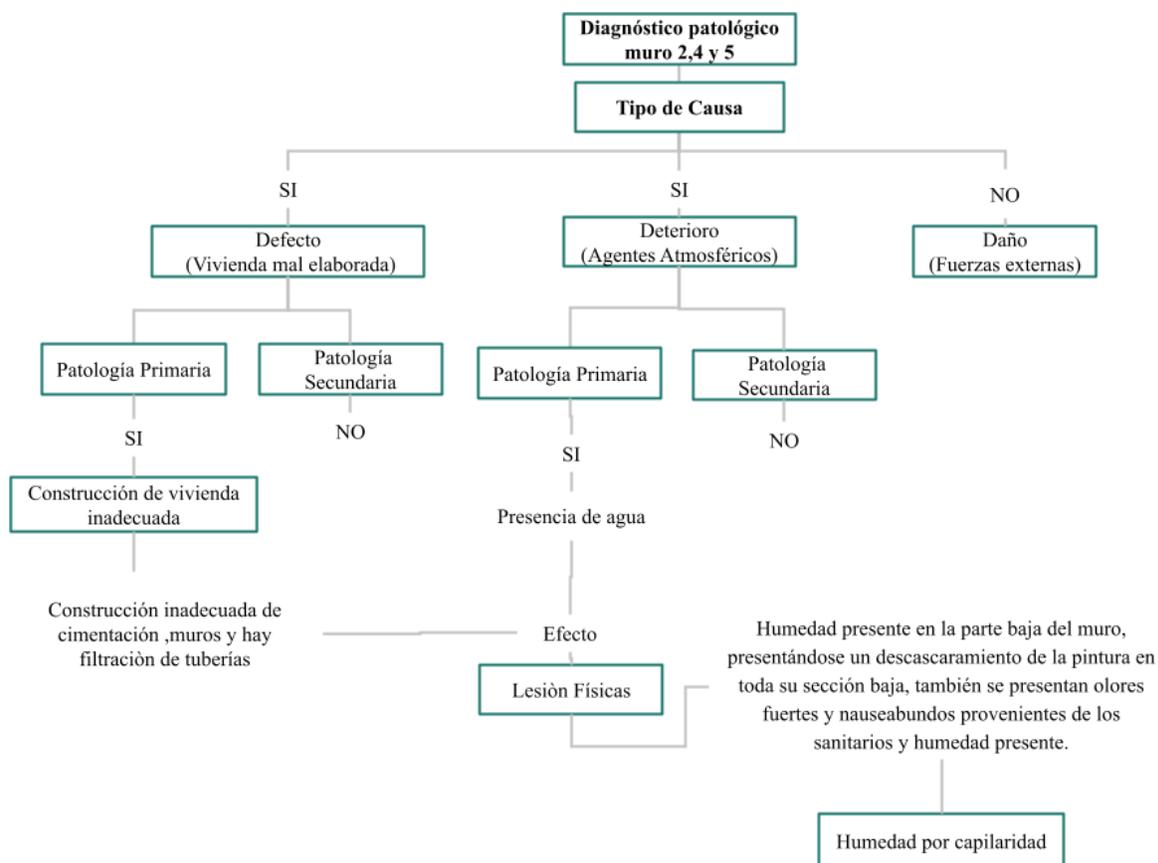
### **6.6.3 Muro 2,4 y5**

Los muros 2 (ver tabla 5), muro 4 (ver tabla 8) y muro 5 (ver tabla 9), presentan el mismo síntoma, tienen humedad que va de abajo hacia arriba, generando un descascaramiento y degradación del acabado de pintura y composición interna del muro (ver tabla 17). Este fenómeno es conocido como capilaridad, la cual el agua se filtra por los capilares de los materiales, donde los más porosos son los ladrillos y morteros, a medida del tiempo se genera unas sales provenientes de estos materiales de construcción, generando una fina capa de manchas blancas en las paredes, si no hay una correcta construcción de cimentación o de los muros, como también, si no hay impermeabilización, el agua entrara con mayor facilidad generando una tensión superficial para ascender por las paredes (García Morales, 1995), otra causa de humedad es la filtración de tuberías averiadas en el caso del muro 2, los propietarios conocen que hay una

filtración que genera una humedad tanto en la parte superior e inferior del muro, lo cual también porífera olores fuertes y nauseabundos que pueden afectar la salud humana.

**Figura 17**

*Muros 2,4 y 5*



*Nota. Elaboración propia*

Teniendo en cuenta que hay varios orígenes que ocasiona esta patología, en cada uno de los muros es pertinente realizar una intervención que no sea compleja y tenga un bajo costo económico, a continuación, se presentan tres formas de intervenir en los muros:

### **Solución 1**

1. Ejecutar unos huecos en la parte baja de los muros, teniendo en cuenta que son muros de

carga, los huecos se deben hacer no muy grandes y de forma salteada.

2. Se impermeabiliza la zona en donde empieza la construcción del muro
3. Cuando el área esté seca, se procede a reconstruir el muro que está en el hueco.

### **Solución 2**

1. Realizar unas perforaciones en la pared cada 10 - 2 cm de la línea del suelo, taladrar se debe dejar un margen de 2-4 cm del otro lado de la pared
2. Limpiar los agujeros con soplado de aire
3. A través de las perforaciones se inyecta un gel que logra desde la parte interna del muro, expandirse, creando una barrera química que impide que la humedad siga ascendiendo.
4. Tapar inmediatamente el agujero para que el gel no se salga.
5. Aplicar en todo el muro de 2 a 3 capas de mortero - anti sales, para evitar que las sales que subieron con el agua, vuelvan a dañar el revoque.
6. Tras 10 a 15 días, se procede a empañetar y terminar el acabado.

### **Solución 3**

#### **Implementación de sistemas magnéticos y de electroósmosis inalámbrica**

Teniendo en cuenta que la capilaridad del agua surge debido a que su polaridad negativa se orienta hacia arriba. Hay sistema que propagan ondas electromagnéticas de radiofrecuencia que penetra muros y suelos, permitiendo cambiar su orientación y paulatinamente por acción de la gravedad desciende las moléculas, en el proceso, los muros generan una mayor cantidad de sales al evaporarse el agua, lo cual se debe rehabilitar, utilizando mortero a la cal y pintura al silicato transpirable.

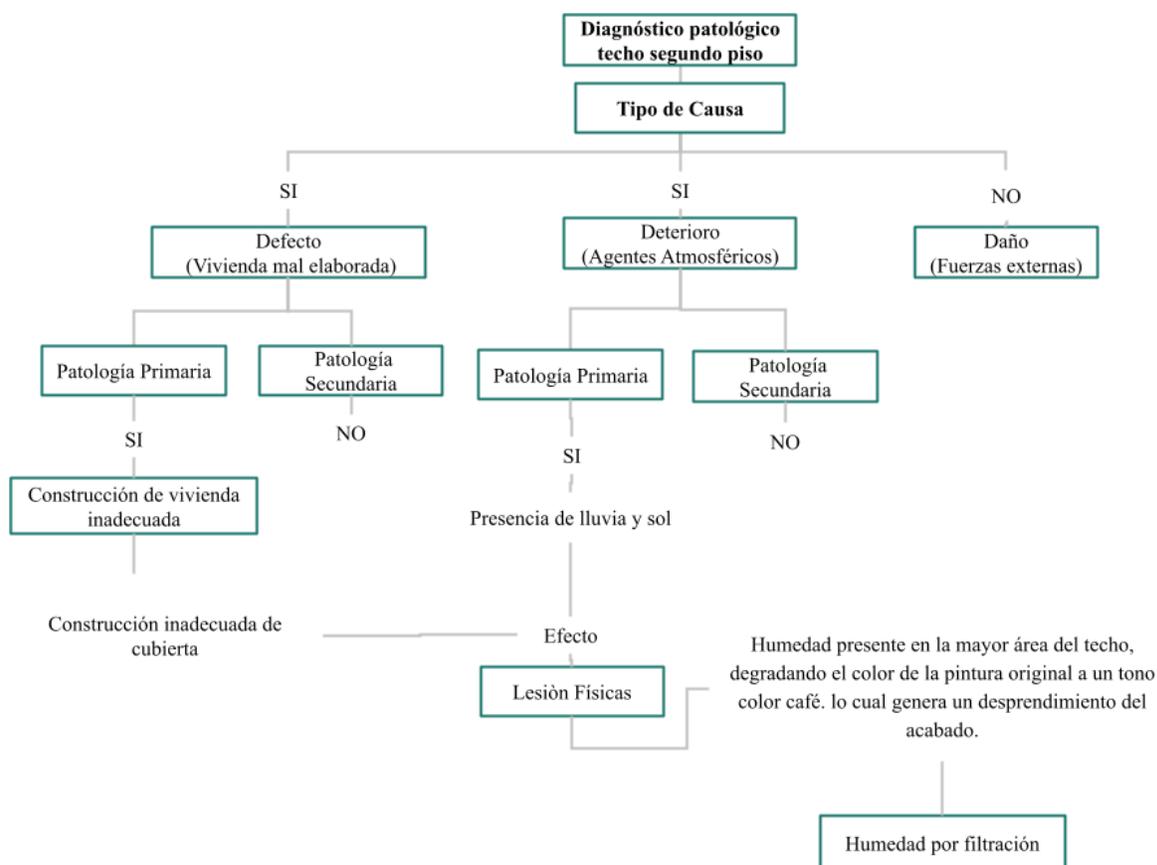
#### **6.6.4 Techo segundo piso**

El techo del segundo piso (tabla 6) tiene una filtración que genera humedad al degradar el

material de concreto y acabado, esta patología se presenta en toda el área del techo. Las posibles causas son debido a la inadecuada construcción del entrepiso y del tejado Eternit que está encima de la losa de concreto (ver tabla 18), ya que no se implementaron impermeabilizantes en la parte externa de la losa para evitar filtraciones de agua, así mismo, hubo una inadecuada instalación de la teja que permite la filtración del agua en época de lluvias y entrada de sol. A medida que pasa el tiempo, la falta de mantenimiento causa agrietas y degradación de los elementos bajo la acción de los agentes atmosféricos.

**Figura 18**

*Techo segundo piso*



*Nota.* Elaboración propia

Como tratamiento, se debe impermeabilizar la losa siguiendo estos pasos:

1. Limpiar la superficie ante la presencia de suciedad o elementos rotos que perjudiquen la adherencia del material impermeabilizante.
2. Se deben eliminar las irregularidades, en caso de encontrar desniveles, fisuras o grietas.
3. Aplicación de pintura impermeabilizante

Como permeabilizantes se puede utilizar:

- Pinturas líquidas de caucho acrílico transparente
- Pinturas elásticas
- Membrana de poliuretano impermeables
- Poliureas

Teniendo en cuenta que la losa de concreto cuenta con dos aperturas, se debe instalar un nuevo tejado de Eternit para cubrir la losa ante los agentes como lluvia y sol, así mismo verificar si está instalado adecuadamente las canaletas, para evitar acumulación de agua en la edificación y poder filtrar el agua a través de la bajante del canal, En la parte inferior de la losa de concreto se debe realizar un tratamiento para eliminar el desprendimiento y la aparición de sales a causa de la humedad, lo cual se puede seguir estos pasos

- Retirar material suelto con espátula y con una escobilla de acero o brocha, eliminar restos de suciedad.
- Aplicar pintura anti hongos
- Aplicar pasta de muro
- Lija la superficie y después limpiar el área con un paño
- Terminar el acabado con pintura

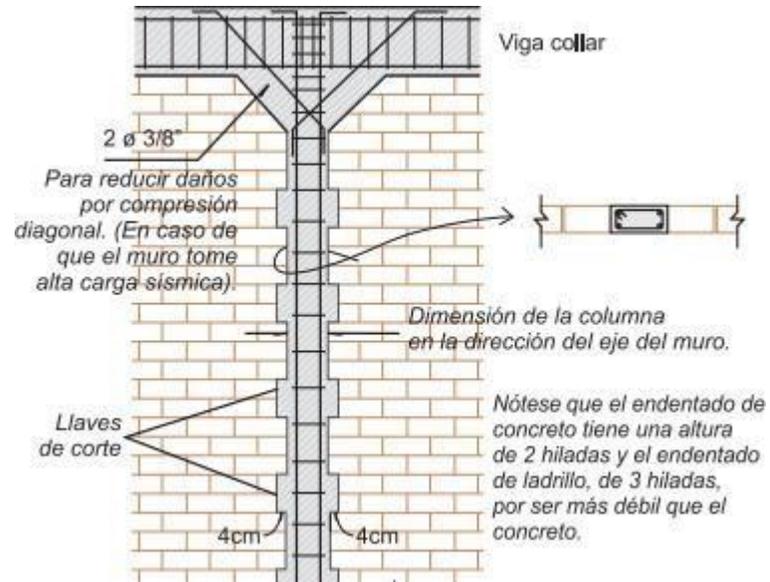
## 6.7 Rehabilitación

Teniendo en cuenta que el sistema estructural emplea muros no reforzados con placa maciza en una zona de amenaza sísmica intermedia, este sistema de muros es clasificado con una capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI), donde el título A establece que es solo recomendable para zonas de amenaza sísmica baja, lo cual la vivienda no cumple con el requisito, ya que se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia. Por ende, como método de rehabilitación se implementa columnas de amarre que no van ancladas a la cimentación, sino al piso que se va a construir; por medio de un epóxico de anclaje, lo cual su función principal es el confinamiento de los muros para resistir fuerzas horizontales, verticales y de corte al momento de la aparición de un sismo.

Estas columnas de confinamiento deberán estar ubicadas a una distancia no mayor a 350 cm o 35 veces el espesor efectivo del muro (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010), teniendo el mismo ancho del ladrillo del muro (ver figura 19), en cuanto al refuerzo se recomienda 2 varillas de  $\frac{1}{2}$  pulgada o 4 varillas de  $\frac{3}{8}$ ; y el concreto deberá tener una resistencia mínima de 175 kg/cm<sup>2</sup>. En la edificación se implementará un total de nueve columnas de confinamiento en la parte perimetral en los dos pisos de la vivienda, en la figura 20 y 21 están denotados de color negro.

Figura 19

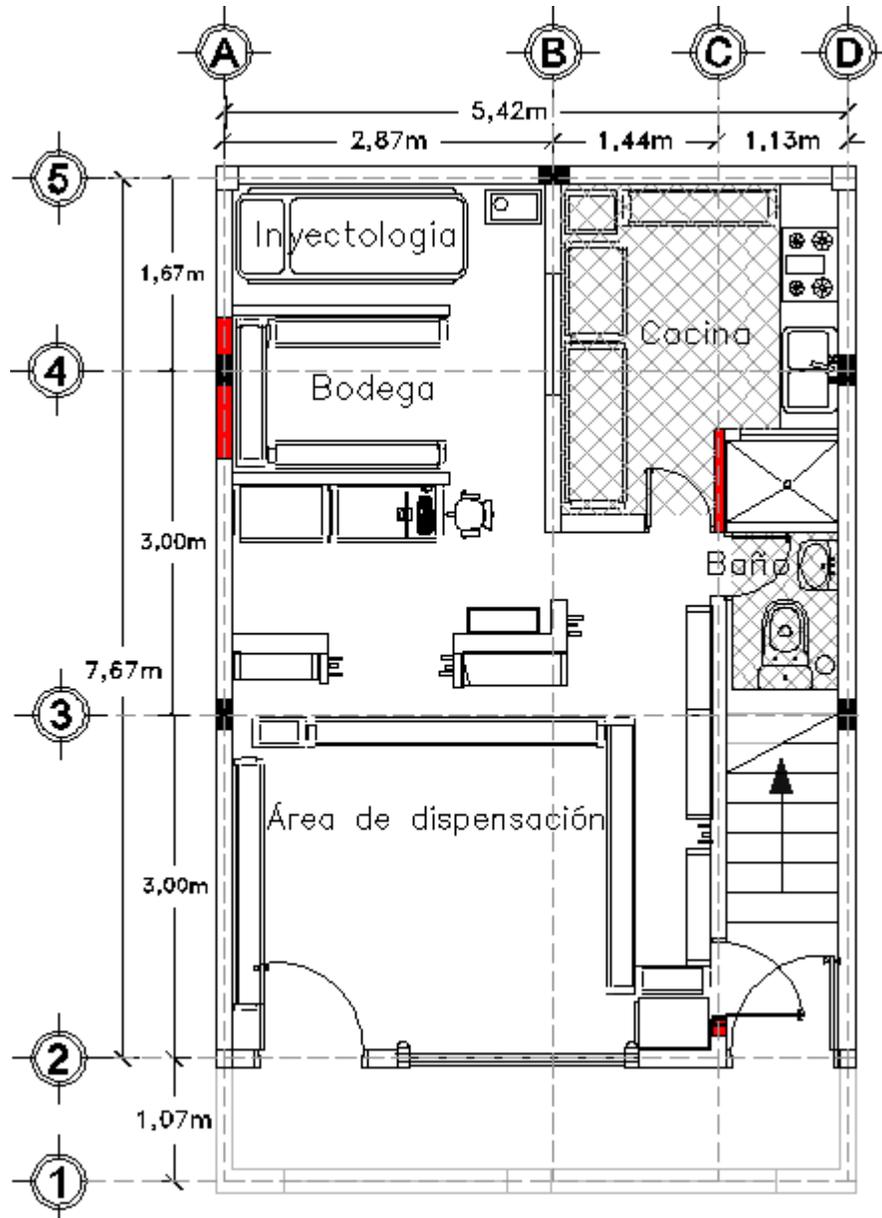
## Columna de confinamiento



Nota. Fuente tomado de Horiuchi & Peña (2009, p. 22)

Figura 20

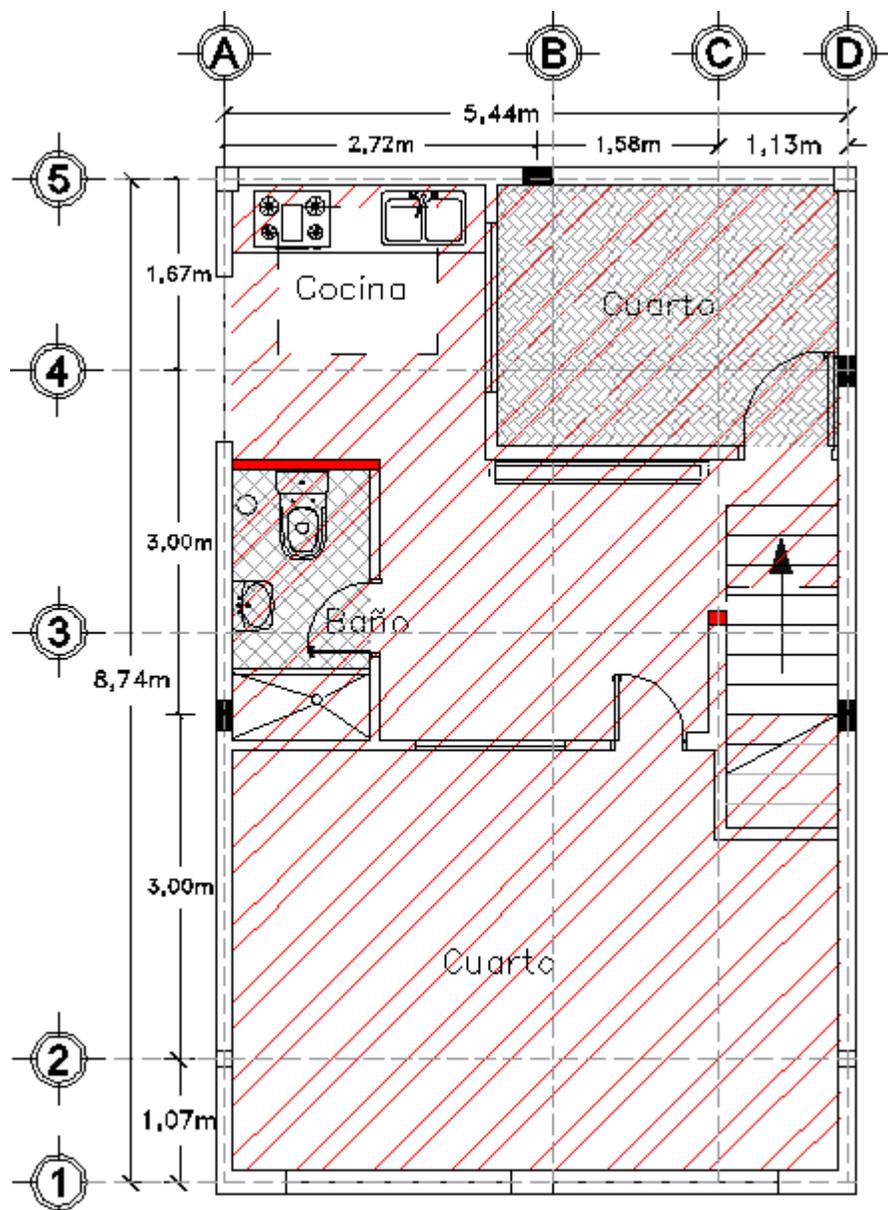
Implementación de columnas de confinamiento en el piso 1



Nota. Elaboración propia

Figura 21

Implementación de columnas de confinamiento en el piso 2



Nota. Elaboración propia

## 7. Conclusiones y recomendaciones

- Los sistemas estructurales de confinamiento permiten un mejor comportamiento en resistir en sentido horizontal, vertical y de corte las fuerzas sísmicas, lo cual es una opción viable para viviendas que presenten una capacidad mínima de disipación de energía.
- Los cambios drásticos de temperatura registrados en cada uno de los elementos, se debe a un desbalance del equilibrio hídrico original, ya que la vivienda fue construida hace más de 30 años y no se ha realizado mantenimiento, los elementos se comienzan a degradar, causando una variación en su comportamiento higrotérmico.
- Al realizar un proceso de mantenimiento en una edificación, se debe realizar un estudio previo para identificar la causa y efecto que produjo la lesión, el procedimiento a intervenir será acorde a mitigar la causa original, lo cual evita que a lo largo del tiempo se vuelva a propagar.
- A lo largo de la vida útil de una vivienda, se deben realizar mantenimientos periódicos para evitar con el paso del tiempo, desgastes o fallos en los elementos que componen la edificación, lo cual permite mitigar con tiempo las lesiones sin tener que gastar más adelante, altos recursos económicos.
- En el presente caso de estudio, por medio de la norma sismo resistente (NSR-10), permito evaluar la vulnerabilidad sísmica de la edificación, por medio del título E (Casa de uno y dos pisos); para un grupo de uso I, se verificó aspectos constructivos, estructurales y geométricos para identificar el grado de vulnerabilidad, en este caso, se clasificó como regular, al presentar deficiencias en la continuidad en altura, calidad de los materiales y áreas de aberturas en los muros.

- El tema de las patologías es de relevancia en el ámbito de la ingeniería civil, ya que son lesiones comunes que presentan las viviendas, y el estudio de ellas permite elaborar una propuesta de alternativas para la intervención de la vivienda, siendo un tema muy común y complejo de abordar, es importante tomar en cuenta investigaciones previamente realizadas para tomarlas como bases y ayuda al momento de enfrentarse en una situación similar.

## 8. Referencias

- Aguilera Madruga, A. (2006). *Propuesta para rehabilitación de « las tahonas»* [Universidad Central de las Villas « Marta Abreu»].  
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/9591/Ariel%20Aguilera%20Madruga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amézquita, A., Muñoz, É. E., Quintero, J., & Forero, M. (2004). Estudio de la vulnerabilidad sísmica estructural de una edificación tipo hospital. *Engineering Failure Analysis*.
- Astorga, A., & Rivero, P. (2009). *Patologías en las edificaciones*. Centro de Investigación de Gestión Integral de Riesgos.
- Broto, C. (2005). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción* (Primera). Links International.
- Cambio climático. (s. f.). *Desarrollo Sostenible*. Recuperado 23 de noviembre de 2021, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- Cavalagli, N., Kita, A., Castaldo, V. L., Pisello, A. L., & Ubertini, F. (2019). Hierarchical environmental risk mapping of material degradation in historic masonry buildings: An integrated approach considering climate change and structural damage. *Construction and Building Materials*, 215, 998-1014. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.204>
- Díaz, C., Cornadó, C., Llorens, L., Pardo, F., & Hormías, E. (2012). Un estudio de caso: La rehabilitación de los edificios de viviendas del barrio de La Mina en Sant Adrià del Besòs (Barcelona). Análisis funcional y de las condiciones de seguridad, habitabilidad y mantenimiento. *Construction and Building Materials*, 64, 16.
- EcoSur Network. (2018, febrero 9). *Mampostería Confinada Sismorresistente 8/11: Muros de Mampostería*. <https://www.youtube.com/watch?v=PXWCoAqZuOo>
- Efthimiadou, T. K., Nikolaidis, Th. N., & Baniotopoulos, C. C. (2017). A Sustainable Design Strategy for the Restoration of Historical Buildings. *Sustainable synergies from Buildings to the Urban Scale*, 38, 234-241. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.110>
- Elguero, A. M. (2004). *Patologías Elementales*. Nobuko.  
<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/59266>
- Fiol Oliván, F. (2014). *Manual de patologías y rehabilitación de edificios*.  
<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/59487>
- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias. (2011). *Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales* (Tercera Edición). Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático.
- García, L. E. (2015). Desarrollo de la Normativa Sismo Resistente Colombiana en los 30 años desde su primera expedición. *Revista de Ingeniería*, 41, 71-77.  
<https://doi.org/10.16924/riua.v0i41.785>
- García Morales, S. (1995). *Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos* [Tesis Doctoral]. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

- Horiuchi, J. K., & Peña, J. S. (2009). *Manual para la Reparación y Reforzamiento de Viviendas de Albañilería Confinada Dañadas por Sismos*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Vulnerabilidad de la región capital, a los efectos del cambio climático*.  
[http://www.ideam.gov.co/documents/40860/609198/Policy+paper\\_05\\_Vulnerabilidad+de+la+Regi%C3%B3n+Capital.pdf/4b603362-a58b-4a8b-898d-4df500b2536f?version=1.0](http://www.ideam.gov.co/documents/40860/609198/Policy+paper_05_Vulnerabilidad+de+la+Regi%C3%B3n+Capital.pdf/4b603362-a58b-4a8b-898d-4df500b2536f?version=1.0)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*.  
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- Labò, S., Casprini, E., Passoni, C., Zanni, J., Belleri, A., Marini, A., & Riva, P. (2018). Application of low-invasive techniques and incremental seismic rehabilitation to increase the feasibility and cost-effectiveness of seismic interventions. *xiv international conference on building pathology and constructions repair, florence, italy, june 20-22, 2018, 11*, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.025>
- Magallon Gudillo, J. A. (2013). *Cartilla de autoconstrucción para vivienda de uno y dos pisos*. Universidad Javeriana.
- Maldonado, N. G., Martín, P. E., & Maldonado, I. A. (2011). Seismic Mitigation of a Historic Masonry Building. *Construction and Building Technology Journal*,.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (Segunda Actualización)*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf>
- Nagy, B. (2019). Designing insulation filled masonry blocks against hygrothermal deterioration. *Engineering Failure Analysis, 103*, 144-157.  
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.05.005>
- Propamsa Sau. (2013). [20130125 Propamsa Reparación Hormigón Repar40 Betec Betopaint Betopox Betoprim](https://www.youtube.com/watch?v=AVZ-TTYw8NA). <https://www.youtube.com/watch?v=AVZ-TTYw8NA>
- Raposo, P. C., Correia, J. A. F. O., Sousa, D., Salavessa, M. E., Reis, C., Oliveira, C., & de Jesus, A. (2017). Pathological Inspection of Structural Masonry Walls of a Late-Romantic Historical Building. *2nd International Conference on Structural Integrity, ICSI 2017, 4-7 September 2017, Funchal, Madeira, Portugal, 5*, 1102-1107.  
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.091>
- Silveira, D., Varum, H., & Costa, A. (2007). Rehabilitation of an important cultural and architectural heritage: The traditional adobe constructions in Aveiro district. *Construction and Building Materials, 102*.
- Tejela Juez, J., Navas Delgado, D., & Machin Hamaleinen, C. (2013). *Restauración y rehabilitación, Rehabilitación, mantenimiento y conservacion de estructuras*. Tornapunta.  
[http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Reh\\_Estructuras\\_2013.pdf](http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Reh_Estructuras_2013.pdf)

- Tejera Juez, J., & Ortiz de la Torre, P. (2015). *Restauración y rehabilitación, Fundamentos de la rehabilitación* (Primera). Tornapunta.  
[http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Fundamentos\\_rehab\\_2015.pdf](http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Fundamentos_rehab_2015.pdf)
- Torres, I. (2018). New technique for treating rising damp in historical buildings: Wall base ventilation. *Journal of Cultural Heritage*, 31, S60-S70.  
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.04.015>
- Trujillo, V. M. S., Herrera, R. G., Nolasco, G. C., Lara, C. M. G., & Carboney, J. A. A. (2019). Characterization of pathologies in housing structures. A case study in the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico. *Journal of Building Engineering*, 22, 539-548.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.014>

## 9. Anexos

### Anexo A

Registro fotográfico de visita a la zona de estudio para la inspección de las patologías presentes









**Anexo B**

Registro fotográfico de verificación de requisitos mínimos de construcción





