

EVALUACIÓN E INTERVENCIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LA
VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UNA VIVIENDA, APLICANDO LA NORMA AIS
410-23 EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO / PUTUMAYO.



AUTORES: YOLMAN YASMANY YELA
KAREN XIOMARA GUTIÉRREZ

ASESOR
MS. SAID S. RODRIGUEZ LOAIZA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ – 2025

1. Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar el papel del estudio patológico en la evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales, basándose en los lineamientos del Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). El análisis se efectuó en la vivienda localizada en el municipio de San Francisco, Putumayo, la cual fue construida de manera informal, sin supervisión técnica ni permisos legales de obra. La edificación presenta las características más comunes de la autoconstrucción: empleo de materiales diversos, técnicas constructivas derivadas de la experticia del personal y daños observables en los diferentes elementos estructurales.

Durante la evaluación se identificaron patologías como lo son las fisuras diagonales en muros portantes, humedad ascendente en las bases por capilaridad, corrosión incipiente en los refuerzos estructurales y asentamientos irregulares en los diferentes cimientos. La aplicación de los criterios establecidos por la NSR-10, específicamente los del Comité AIS 410-23, revelan un elevado nivel de vulnerabilidad estructural, lo cual se evidencia que la vivienda enfrenta riesgos considerables y requiere intervención técnica inmediata.

Se destaca que el estudio evidenció limitaciones en la normativa vigente respecto a la inclusión detallada de la inspección directa de daños y el seguimiento del avance del deterioro de estos, lo que puede afectar la precisión diagnóstica. Por ello, se plantea una metodología complementaria que integra: la inspección visual, la clasificación de daños, los ensayos no destructivos y la evaluación conforme a la normatividad vigente. Este enfoque pretende proporcionar resultados más precisos y objetivos sobre el estado estructural, minimizando la subjetividad en la valoración de los daños, optimizando la toma de decisiones y ofreciendo información técnica confiable para la planificación de futuras intervenciones y la debida gestión de riesgos en viviendas de tipo informal.

Palabras Clave: vulnerabilidad estructural, estudio patológico, vivienda informal, AIS 410-23, mampostería no reforzada, evaluación sísmica, diagnóstico, intervención.

2. Abstract

This research aims to analyze the role of pathological studies in assessing the structural vulnerability of informal housing, based on the guidelines of Committee AIS 410-23 of the Colombian Earthquake-Resistant Construction Standard (NSR-10). The analysis was carried out on a house located in the municipality of San Francisco, Putumayo, which was built informally, without technical supervision or legal construction permits. The building exhibits the most common characteristics of self-construction: the use of diverse materials, construction techniques derived from the expertise of the personnel, and observable damage to the various structural elements.

During the assessment, pathological conditions were identified such as diagonal cracks in load-bearing walls, rising damp at the bases due to capillarity, incipient corrosion in the structural reinforcements, and uneven settlements in the various foundations. The application of the criteria established by NSR-10, specifically those of Committee AIS 410-23, reveals a high level of structural vulnerability, indicating that the dwelling faces considerable risks and requires immediate technical intervention.

It is noteworthy that the study revealed limitations in current regulations regarding the detailed inclusion of direct damage inspection and monitoring of the progress of deterioration, which may affect diagnostic accuracy. Therefore, a complementary methodology is proposed that integrates visual inspection, damage classification, non-destructive testing, and evaluation in accordance with current regulations. This approach aims to provide more accurate and objective results regarding the structural condition, minimizing subjectivity in damage assessment, optimizing decision-making, and providing reliable technical information for planning future interventions and ensuring proper risk management in informal housing.

Keywords: structural vulnerability, pathological assessment, informal housing, AIS 410-23, unreinforced masonry, seismic assessment, diagnosis, intervention.

Contenido

1. Resumen	2
Palabras Clave:	2
2. Abstract.....	3
Keywords:.....	3
3. Glosario	6
4. Introducción.....	8
5. Antecedentes.....	8
5.1. Formulación del tema	8
6. Formulación del problema.....	9
7. Justificación	10
8. Objetivos.....	11
8.1. Objetivo general	11
8.2. Objetivos específicos.....	11
9. Marco teórico.....	12
9.1. La vivienda informal	12
9.2. Vulnerabilidad estructural	12
9.3. La mampostería en viviendas informales	13
9.4. El comité AIS 410-23 de la norma NSR-10 y su aplicación.....	13
9.5. Metodología integral de la intervención patológica de edificaciones	13
9.6. Ensayos.....	14
10. Marco metodológico.....	15
10.1. Enfoque de la investigación.....	15
10.2. Tipo de investigación	15
10.3. Método de investigación.....	15
10.4. Técnicas de recolección de información	16
10.5. Estrategias de análisis.....	17
11. Estudio de Caso	17
11.1. Ubicación y contexto	17

11.2.	Diagnóstico patológico estructural	18
11.3.	Plan de ensayos.....	19
11.4.	Clasificación de lesiones y causas	19
11.5.	Síntesis del diagnóstico	20
12.	Estudio patológico según los requerimientos del paciente	21
12.1.5.	Propuesta de Intervención.....	26
13.	Resultados.....	29
13.1.	Evaluación según el Comité AIS 410-23 de la Norma NSR-10.....	29
13.2.	Resultados del diagnóstico patológico	29
13.3.	Comparación entre diagnóstico patológico y AIS 410-23.....	30
13.4.	Priorización de intervenciones.....	31
13.5.	Impacto de la integración	31
13.6.	Síntesis de hallazgos	32
14.	Discusiones	33
15.	Conclusiones.....	34
16.	Referencias	36
	Ilustración 1 Propuesta detalle de cimentación	26
	Ilustración 2 Sección transversal filtro francés.....	27
	Ilustración 3 Esquema básico en elevación de aislamiento pluvial de fachadas, laterales y frontales a nivel de cubierta	27
	Tabla 1 Clasificación de lesiones y causas	19
	Tabla 2 Resumen de lesiones.....	24
	Tabla 3 Comparación entre AIS 410-23 y diagnostico patológico	30

3. Glosario

A_a = Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva para diseño, de acuerdo con el Capítulo A.2.2 del Reglamento NSR-10.

A_c = Área total del entrepiso o techo soportado por los muros del nivel de la vivienda en

consideración.

A_N = Área neta resistente a cortante del bloque de mampostería.

A_w = Área bruta del muro.

C_B = Factor de resistencia del bloque.

$C_{N_i,x}$ = Factor de área neta del muro i en la dirección principal x .

$C_{N_i,y}$ = Factor de área neta del muro i en la dirección principal y .

C_P = Factor de piso.

C_Q = Factor de calidad de la obra.

C_R = Factor de vulnerabilidad para el análisis.

C_W = Factor de peso sísmico.

f'_{cu} = Resistencia a la compresión sobre área bruta de las piezas individuales de arcilla o concreto, MPa.

f'_m = Resistencia a la compresión sobre área bruta en muretes de mampostería de arcilla o bloques de concreto, MPa.

f_y = Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo, MPa.

f'_c = Resistencia a compresión a los 28 días del concreto, MPa.

h = Altura libre de muros

H = Altura del Talud.

I = Coeficiente de Importancia definido en la sección A.2.5.2 del Reglamento NSR-10.

K_c = Factor de ajuste para revoque con malla electrosoldada.

K_m = Factor de ajuste para muros nuevos.

K_p = Factor de ajuste para revoque nuevo.

$l_{m_i,x}$ = Longitud del muro i en la dirección principal x .

$l_{mi,y}$ = Longitud del muro i en la dirección principal y .
 MC = Mampostería Confinada.
 MNR = Mampostería No Reforzada.
 N = Número de niveles de la vivienda.
 PAM = Porcentaje de Área de Muros.
 P.O.T. = Plan de Ordenamiento Territorial
 R = Coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño.
 S_a = Parámetro de Aceleración Espectral de Respuesta de Periodo Corto.
 t = Espesor nominal de los muros.
 $t_{mi,x}$ = Espesor nominal del muro i en la dirección principal x .
 $t_{mi,y}$ = Espesor nominal del muro i en la dirección principal y .
 SVRFL = Sistema Vertical de Resistencia de Fuerzas Laterales
 T = Periodo de vibración del sistema elástico, en segundos.
 v_n = Esfuerzo resistente a cortante sobre área neta para los bloques de arcilla a perforación horizontal, kPa.
 V_n = Capacidad de resistencia a cortante de un muro de mampostería, kN.
 VUD = Demanda sísmica calculada en el lugar de la intervención, kN.
 W = Menor dimensión en planta de la vivienda.

4. Introducción

En Colombia, la vivienda informal es una problemática presente tanto en zonas urbanas como rurales. Muchas familias viven en construcciones que no cumplen con los estándares mínimos de seguridad estructural y fueron edificadas mediante procesos de autoconstrucción sin asistencia técnica ni supervisión profesional. Los materiales empleados suelen ser de baja calidad y las técnicas constructivas empíricas, lo que aumenta la vulnerabilidad de las edificaciones. Esta situación se agrava en las regiones del país con alta amenaza sísmica, donde existe el riesgo de colapso estructural de las construcciones de las diferentes comunidades.

El Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) proporciona herramientas técnicas para evaluar la vulnerabilidad de las construcciones existentes y determinar si se requieren intervenciones o refuerzos estructurales. Al aplicar este procedimiento normativo en viviendas de tipo informal, se identifican algunas limitaciones, ya que no incorpora suficientemente el diagnóstico patológico, que consiste en la observación directa y el análisis detallado de daños los relacionados con el deterioro físico y funcional de dichas edificaciones.

El estudio patológico aporta información relevante sobre el estado actual de la vivienda en estudio, permite identificar causas de daños y estimar su posible agravamiento. Incorporar este análisis en la evaluación estructural puede contribuir a obtener diagnósticos objetivos, especialmente en viviendas autoconstruidas, donde convergen los errores constructivos, el desgaste de materiales y la ausencia de mantenimiento preventivo.

Esta investigación vincula la aplicación práctica del Comité AIS 410-23 de la NSR-10 con el estudio patológico de la vivienda situada en San Francisco, Putumayo, con el objetivo de desarrollar una metodología integrada que resuelva las limitaciones detectadas y optimice la evaluación de viviendas informales en zonas expuestas a altos movimientos sísmicos. El estudio propone un marco técnico replicable en otros territorios nacionales, orientado a mejorar los procesos de diagnóstico, intervención y gestión del riesgo en comunidades con condiciones de vulnerabilidad estructural y social.

5. Antecedentes

5.1. Formulación del tema

Esta investigación se enfoca en comprender y analizar el proceso metodológico que se emplea para evaluar la condición estructural de las viviendas informales en Colombia, especialmente aquellas construidas en mampostería. El reconocimiento de que gran proporción de las casas construidas de manera informal en Colombia fueron edificadas sin

supervisión profesional o técnica, siendo este el punto inicial de esta investigación. Esta condición las hace muy vulnerables frente a los movimientos del suelo que causan daño estructural y material.

El trabajo se organiza en tres ejes: 1) aplicación y evaluación de los métodos del Comité AIS 410-23 de la NSR-10 en construcciones ya existentes; 2) análisis patológico como complemento técnico para entender el estado real y causas de la degradación de los componentes estructurales; y 3) una metodología integrada que une diagnóstico patológico y normatividad vigente, buscando un proceso coherente y reproducible.

La investigación propone una metodología que disminuya la brecha entre el análisis patológico y la aplicación de normas vigentes para evaluar la vulnerabilidad estructural. Se busca mejorar los diagnósticos, las decisiones y la planificación de las viviendas construidas de manera informal, contribuyendo a reducir el riesgo de afectaciones frente a sismos y proteger vidas humanas y bienes materiales.

6. Formulación del problema

En muchas regiones del país, la vivienda informal representa la única posibilidad que tienen las familias de bajos ingresos para acceder a un techo propio. Estas construcciones, generalmente levantadas sin licencia ni acompañamiento técnico, presentan una alta vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales, especialmente ante la actividad sísmica. La ausencia de los criterios técnicos en los diseños estructurales, el empleo de materiales de baja calidad y la exposición continua a los cambios de las condiciones ambientales incrementan de manera considerable el riesgo al que se ven sometidos los habitantes de las viviendas construidas de manera informal.

El Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece un marco técnico destinado al análisis de la vulnerabilidad estructural en edificaciones existentes. Sin embargo, se identifican algunas limitaciones significativas al aplicarse en escenarios de autoconstrucción o de construcción informal. La normativa, además, no contempla explícitamente el diagnóstico patológico dentro de su metodología, lo que constituye a una de sus principales deficiencias. Esta omisión dificulta el registro sistemático de lesiones visibles tales como lo son las fisuras, los fenómenos de corrosión o los asentamientos diferenciales, elementos clave para comprender el proceso de deterioro estructural.

En consecuencia, la evaluación se fundamenta principalmente en indicadores globales que, si bien proporcionan una visión general, pueden no reflejar el estado real de la construcción.

En este contexto, resulta necesario analizar con mayor profundidad el papel del estudio patológico en la evaluación estructural, con el propósito de identificar cómo su integración puede contribuir a la optimización de los procesos normativos y al aumento de la confiabilidad en los resultados obtenidos. Bajo esta premisa, la investigación se orienta a responder la siguiente pregunta central:

¿Cuál es el alcance del estudio patológico en el proceso de evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales, en el marco de la aplicación del Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), y cómo puede optimizarse su desarrollo metodológico para generar insumos confiables en la toma de decisiones de intervención?

7. Justificación

En Colombia, el déficit habitacional no solo se refleja en la cantidad de viviendas disponibles, sino también en la calidad y seguridad de las edificaciones ya existentes. Una proporción considerable de estas construcciones se ha levantado de forma informal, sin acompañamiento técnico ni cumplimiento de las normas de construcción, lo que aumenta su vulnerabilidad ante los sismos y otros fenómenos naturales.

El Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) constituye un avance importante para la evaluación de edificaciones existentes. Sin embargo, el alcance de esta norma tiene algunas restricciones. Se omite información crucial sobre los procesos de deterioro y las lesiones que afectan directamente la capacidad de resistencia de las edificaciones al no incluir un estudio patológico en su procedimiento. Esta falta de metodología hace que sea complicado conseguir diagnósticos exactos y fiables, especialmente cuando se refiere a construcciones informales, donde son habituales las deficiencias y el mantenimiento a las edificaciones es casi nulo.

La relevancia del presente trabajo se justifica en tres dimensiones complementarias:

- Académica: contribuye al fortalecimiento del conocimiento técnico, al proponer un marco metodológico integrador que vincula la patología de la construcción con la aplicación normativa, ofreciendo un modelo aplicable en distintos contextos del país.
- Social: busca reducir el riesgo sísmico en comunidades vulnerables mediante herramientas prácticas que mejoren la seguridad estructural de las viviendas autoconstruidas.
- Normativa técnica: este estudio propone que el Comité AIS 410-23 de la NSR-10 pueda incluir fases específicas de diagnóstico y protocolos de

registro estandarizados, buscando reducir la subjetividad en la evaluación estructural.

En conclusión, este estudio tiene como objetivo llenar el vacío metodológico que existe entre la valoración normativa y el diagnóstico patológico. Para ello, se propone una metodología combinada que posibilite la toma de decisiones de intervenciones más acertadas y aumentar la fiabilidad de las investigaciones estructurales en viviendas construidas de manera informal.

8. Objetivos

8.1.Objetivo general

Analizar el alcance del estudio patológico en la evaluación de la vulnerabilidad estructural de viviendas informales, en el marco de la norma AIS 410-23, y proponer una metodología integrada que optimice su aplicación para la toma de decisiones de intervención.

8.2.Objetivos específicos

1. Identificar y clasificar las lesiones presentes en una vivienda informal de San Francisco, Putumayo, como insumo para la evaluación estructural.
2. Aplicar la metodología AIS 410-23 de la norma NSR-10 al edificio analizado para determinar su vulnerabilidad estructural.
3. Comparar los resultados obtenidos en el diagnóstico patológico con los parámetros de la norma, identificando vacíos y limitaciones.
4. Formular una propuesta metodológica que integre el estudio patológico a la aplicación de la AIS 410-23, con el fin de mejorar la calidad de los insumos técnicos para la intervención estructural.

9. Marco teórico

9.1.La vivienda informal

En Colombia se caracteriza por la construcción sin licencias, falta de diseño y supervisión técnica, ni control de calidad de los materiales, lo que conlleva a múltiples deficiencias estructurales (DANE, 2022). Según Reyes (2015), estas construcciones son altamente vulnerables a sismos por la falta de sistemas regulados, elementos resistentes y continuidad estructural. Su construcción es común en zonas urbanas periféricas, generalmente sobre suelos inestables y con acceso limitado a los servicios técnicos.

En Colombia, la construcción de este tipo de viviendas representa parte significativa del total de las viviendas construidas, particularmente están en zonas fronterizas y en los municipios intermedios. Su construcción progresiva, es realizada por etapas según la disponibilidad de los recursos económicos de los propietarios, esto produce discontinuidades y fallas estructurales acumulativas. Esto explica por qué las viviendas informales suelen presentar una alta vulnerabilidad frente a los movimientos sísmicos entre sus fallas están cimentaciones débiles, muros delgados, ausencia de confinamientos y deterioro por falta de mantenimiento, generalmente este último es casi nulo.

9.2.Vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad estructural se entiende como el grado de daño que una edificación puede experimentar cuando es sometida a la acción de un sismo. Este concepto no depende únicamente del diseño inicial o de los materiales utilizados, sino también de las condiciones que la construcción adquiere con el paso del tiempo y su interacción con el entorno.

En términos generales, pueden diferenciarse dos tipos de vulnerabilidad:

- Vulnerabilidad intrínseca la cual hace referencia a las condiciones propias con las que fue concebida la edificación. Depende de la tipología estructural, la calidad de los materiales utilizados, parte técnica y los criterios de diseño aplicados al momento de su construcción.
- La vulnerabilidad adquirida es causada por el envejecimiento, la exposición a cambios ambientales constantes, la falta de mantenimiento de tipo preventivo o acciones de uso incorrectas durante su vida útil.

En el caso de las viviendas informales, ambos tipos de vulnerabilidad pueden presentarse y de manera simultánea. Estas edificaciones no han sido diseñadas para resistir movimientos sísmicos y, además, muestran daños derivados por el deterioro natural y la falta de mantenimiento preventivo. Por lo tanto, para analizar su vulnerabilidad estructural es necesario considerar no solo los parámetros normativos, sino también la observación

directa de los daños y el estudio de los procesos de degradación que afectan su desempeño ante eventos sísmicos.

9.3. La mampostería en viviendas informales

La mampostería, en sus diferentes variantes, es el sistema constructivo más utilizado en la vivienda informal en Colombia. Se emplean bloques de arcilla o de concreto unidos con mortero, usualmente sin el confinamiento regido por la normatividad.

En condiciones adecuadas, la mampostería confinada puede comportarse satisfactoriamente frente a sismos. Sin embargo, en la vivienda informal predominan tipologías no confinadas o parcialmente confinadas, que muestran deficiencias críticas, como los son la fisuración diagonal por cortante, el desprendimiento del mortero en las juntas y los colapsos parciales de los paños.

Las lesiones más frecuentes en este sistema son:

- Fisuras: diagonales, verticales y horizontales, asociadas a esfuerzos de cortante, flexión y asentamientos diferenciales.
- Lesiones por humedad: eflorescencias, desprendimientos de revoques y debilitamiento de morteros.
- Corrosión en armaduras: en elementos de confinamiento con recubrimiento deficiente.

Estos problemas hacen evidente la necesidad de un diagnóstico patológico detallado para comprender el verdadero desempeño de la mampostería en viviendas informales.

9.4. El comité AIS 410-23 de la norma NSR-10 y su aplicación

El comité AIS 410-23 de la norma NSR-10 fue emitida por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica para establecer criterios de evaluación y reducción de la vulnerabilidad en viviendas de mampostería. Variables como el factor de calidad de obra (CQ), índice de vulnerabilidad estructural (IVE) y porcentaje de área de muros (PAM) requieren información exacta sobre las condiciones constructivas. Sin un diagnóstico estandarizado, su aplicación se ve limitada. La investigación busca cerrar esta brecha mediante una metodología técnica y coherente.

9.5. Metodología integral de la intervención patológica de edificaciones

De acuerdo con Broto (2004), la intervención patológica debe concebirse como un proceso integral que trasciende la simple reparación de los daños visibles. No se trata únicamente de corregir fallas, sino de comprender el origen de las lesiones, evaluar su alcance y definir acciones coherentes que garanticen la estabilidad y durabilidad de la estructura.

Este proceso se desarrolla a través de una serie de fases consecutivas, cada una de las cuales aporta información esencial para sustentar las decisiones finales:

1. Inspección preliminar y registro: En esta etapa se realiza una observación directa del edificio y un levantamiento visual detallado. Se elaboran croquis, se toman fotografías y se crean fichas de registro estandarizadas para documentar con precisión las patologías identificadas.
2. Formulación de hipótesis de causa: Después de detectadas las lesiones, se examina su origen probable. Este análisis tiene como objetivo distinguir entre causas de tipo mecánico, biológico, químico o físico, teniendo en cuenta tanto el comportamiento estructural del edificio al igual que las condiciones ambientales.
3. Verificación mediante ensayos: En esta etapa se llevan a cabo pruebas no destructivas y, en situaciones particulares algunos ensayos destructivos. La meta es verificar o refutar las hipótesis formuladas en la fase anterior y conseguir información cuantitativa acerca de la condición de los materiales.
4. Evaluación estructural correlacionada: Los hallazgos del diagnóstico de patología se combinan con la evaluación normativa, lo cual posibilita una perspectiva más integral y precisa de la conducta estructural del edificio.
5. Definición de la intervención: con base en toda la información obtenida, se formulan las acciones de intervención necesarias, clasificadas en cuatro niveles:
 - Reparación: dirigida a corregir los daños leves o localizados.
 - Restauración: enfocada a recuperar las condiciones originales en los elementos afectados.
 - Rehabilitación: orientada a mejorar la capacidad estructural de la edificación.
 - Prevención: basada en el mantenimiento periódico y en el control de agentes que provocan el deterioro de la edificaciones.

Esta metodología asegura que las decisiones de intervención se apoyen en un diagnóstico completo y razonado, y no en apreciaciones parciales o acciones aisladas. Su aplicación sistemática permite garantizar una respuesta técnica más efectiva frente a los daños que presentan las edificaciones, especialmente aquellas de carácter informal.

9.6.Ensayos

Los ensayos representan una herramienta fundamental dentro del diagnóstico patológico, ya que proporcionan la base técnica necesaria para comprender el estado real de una edificación. Según Broto (2004), estos procedimientos se agrupan en dos categorías principales, dependiendo del grado de afectación que producen sobre la estructura:

- Ensayos no destructivos (END): incluye la inspección visual, la esclerometría, los ultrasonidos, la termografía infrarroja, el uso de ferroskan y las mediciones higrométricas. Su principal ventaja es que permiten obtener información precisa sobre el estado de los materiales sin afectar su integridad estructural. Son métodos eficientes, económicos y rápidos para detectar áreas con baja resistencia, humedad o deterioro a nivel superficial.
- Ensayos destructivos (ED): Incorporan procedimientos como los análisis petrográficos, las pruebas de carga localizadas, la extracción de testigos y los ensayos de compresión en laboratorio. Estas técnicas se utilizan cuando los ensayos no destructivos muestran anomalías importantes que necesitan una evaluación más detallada del comportamiento del material. Ya que implican la remoción o alteración parcial del material.

La aplicación combinada de ambos tipos de ensayos no destructivos y destructivos, permite confirmar hipótesis planteadas durante la inspección visual y cuantificar la severidad de los daños detectados. De este modo, se fortalece el proceso de evaluación estructural y se obtiene un diagnóstico más completo, que respalda de manera objetiva las decisiones de intervención.

10. Marco metodológico

10.1. Enfoque de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas. El enfoque cualitativo permitió describir y clasificar las lesiones identificadas en la vivienda, mientras que el cuantitativo se centró en los cálculos normativos de la AIS 410-23 y en los resultados de los ensayos aplicados. Esta combinación resultó pertinente porque permitió comprender no solo la magnitud numérica de la vulnerabilidad, sino también los procesos patológicos que la explican.

10.2. Tipo de investigación

El trabajo corresponde a una investigación aplicada y propositiva. Es aplicada porque se centra en resolver un problema real en un caso específico: la evaluación de una vivienda informal en San Francisco, Putumayo. Es propositiva porque no se limita a describir la situación existente, sino que plantea una metodología integrada que busca optimizar la aplicación de la norma AIS 410-23.

10.3. Método de investigación

El método empleado combinó la revisión documental y la inspección directa en campo, integrando ambas en un proceso de análisis comparativo. Las fases principales fueron:

- Revisión bibliográfica sobre patologías constructivas, vulnerabilidad en viviendas informales y lineamientos de la norma AIS 410-23.
- Inspección visual detallada de la vivienda de estudio, con registro fotográfico y aplicación de fichas patológicas.
- Clasificación de las lesiones y elaboración de conjeturas sobre sus causas más probables.
- Aplicación de ensayos no destructivos (END) y, cuando fue necesario, destructivos (ED).
- Valoración normativa de la edificación según los parámetros de la AIS 410-23.
- Comparación entre los resultados normativos y los hallazgos patológicos.
- Formulación de una propuesta metodológica integrada para la evaluación de viviendas informales.

10.4. Técnicas de recolección de información

La recolección de información se realizó mediante un conjunto de técnicas complementarias, orientadas a obtener una visión clara y precisa del estado estructural de la vivienda estudiada.

- Inspección visual base del diagnóstico patológico. Se efectuó de manera ordenada y sistemática en los principales elementos estructurales como muros, cubiertas, cimentaciones y confinamientos con el objetivo de identificar daños visibles, su ubicación y posibles causas.

- Fichas de registro patológico las cuales se diseñaron tomando como referencia modelos internacionales, pero fueron ajustadas al contexto local para consignar de una manera detallada el tipo de daño, su localización exacta y su grado de severidad.

- Registro fotográfico a cada lesión detectada, fue documentado y asociado al croquis de la vivienda, lo que permitió relacionar directamente y de manera visual junto con la ubicación en planta y facilitar el posterior análisis.

- Ensayos no destructivos (END) aplicando pruebas como la esclerometría, el ultrasonido, el ferroskan y mediciones de humedad. Estas técnicas aportaron información adicional sobre la calidad de los materiales y permitieron detectar deterioros internos no visibles a simple vista.

- Aplicación normativa: finalmente, se realizó la evaluación conforme a los parámetros del Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Los datos recolectados en campo se integraron al formato oficial de la norma, lo que permitió vincular los resultados del diagnóstico patológico con la valoración normativa.

10.5. Estrategias de análisis

Una vez recolectada la información, los datos fueron organizados y analizados en tres niveles complementarios, que permitieron estructurar el proceso metodológico de forma lógica y coherente:

- Nivel descriptivo enfocado en la caracterización de las lesiones observadas, clasificación según tipo y severidad, y representación en las fichas técnicas y planos de daños.
- Nivel comparativo permitió establecer un contraste entre los resultados del diagnóstico patológico y los parámetros obtenidos mediante la aplicación de la norma, con el fin de evidenciar coincidencias, diferencias y vacíos metodológicos.
- Nivel propositivo enfocado en el diseño de una metodología integrada que relaciona los resultados del diagnóstico patológico con los criterios establecidos por la normativa vigente, con el propósito de crear herramientas prácticas que apoyen la toma de las decisiones en los procesos de intervención estructural.

Este enfoque permitió que los resultados obtenidos trascendieran las observaciones descriptivas, convirtiéndose en insumos técnicos sólidos y verificables, útiles tanto para la aplicación profesional como para la formulación de lineamientos normativos orientados a fortalecer la seguridad estructural de las viviendas informales.

11. Estudio de Caso

11.1. Ubicación y contexto

El caso de estudio se centra en una vivienda informal localizada en el municipio de San Francisco, Putumayo, una región que el Servicio Geológico Colombiano clasifica dentro de una zona de amenaza sísmica intermedia a alta. Esta condición geográfica incrementa el nivel de riesgo de las edificaciones levantadas sin planificación técnica, como la vivienda analizada, que forma parte del tejido urbano construido de manera informal a lo largo de las últimas décadas.

La vivienda analizada fue edificada durante la década de 1970, mediante procesos de autoconstrucción sin supervisión técnica ni aplicación de criterios estructurales normativos. La estructura corresponde a mampostería parcialmente confinada y cuenta con dos niveles de uso mixto: el primero destinado a actividades comerciales y el segundo a uso residencial. La superficie aproximada construida es de 90 m² por planta y se cimenta sobre zapatas aisladas las cuales evidencian deficiencias en su capacidad portante.

La condición general de la conservación ha sido clasificada entre mala y regular, reflejando las dificultades habituales asociadas de la autoconstrucción en áreas periféricas y

rurales del país. Las principales causas incluyen el empleo de materiales de baja calidad, la ausencia de diseño estructural profesional y falta de supervisión técnica además de la carencia de mantenimiento preventivo, factores que incrementan notablemente la vulnerabilidad sísmica de la edificación y favorecen el deterioro progresivo de los elementos estructurales y no estructurales.

11.2. Diagnóstico patológico estructural

Durante la inspección técnica realizada a la vivienda, se identificaron diversas lesiones estructurales y constructivas que comprometen de manera directa su estabilidad y seguridad. Entre las más relevantes se destacan las siguientes:

- Fisuras diagonales en muros portantes: presentan aberturas que oscilan entre 2 y 5 mm, generalmente asociadas a esfuerzos de cortante y a asentamientos diferenciales en la cimentación.
- Fisuras horizontales en las uniones muro viga: se originan por deficiencias constructivas en el proceso de confinamiento y por diferencias en el comportamiento mecánico de los materiales empleados, lo que genera deformaciones incompatibles entre los elementos.
- Humedad ascendente en zócalos: provocada por la falta de una barrera impermeable en las paredes, lo cual posibilita que el agua suba mediante el fenómeno de capilaridad es decir desde el terreno hasta los componentes de mampostería.
- Desprendimiento de revoques en fachadas: resultado de la utilización de morteros de calidad inferior y la exposición extensa a las inclemencias del tiempo, que pierden adherencia con el transcurso del tiempo.
- Corrosión incipiente en los elementos de confinamiento: provocada por la disminución del recubrimiento de acero y la carbonatación del mortero circundante, procesos que impulsan la formación de óxidos y el debilitamiento del material.
- Asentamiento diferencial en la cimentación de la fachada: se manifiesta mediante un hundimiento localizado, que interrumpe la continuidad estructural del sistema y acelera la formación de fisuras en los muros.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Broto (2004), las lesiones identificadas se agrupan en tres categorías principales, según su origen y naturaleza:

- Mecánicas, como las fisuras y los asentamientos diferenciales.
- Físicas, relacionadas con la humedad y el desprendimiento de materiales.
- Químicas, asociadas a los procesos de corrosión en los elementos metálicos.

Esta clasificación permitió organizar la información de manera coherente y establecer la relación entre los distintos tipos de daño y sus posibles causas, facilitando la interpretación del comportamiento estructural de la vivienda.

11.3. Plan de ensayos

Para complementar la inspección visual se aplicaron ensayos no destructivos (END):

- Esclerometría identificó zonas con baja dureza superficial en muros.
- Ultrasonido detectó interrupciones internas con algunas grietas entre los paños.
- Ferroskan facilitó la colocación de los refuerzos metálicos en los confinamientos y la medición de los recubrimientos inadecuados.
- Mediciones de humedad detectaron la existencia de agua en muros bajos.

Con el fin de reducir la afectación en la construcción existente, se realizaron también ensayos destructivos (ED), como la extracción de testigos de concreto de los componentes estructurales del sistema.

11.4. Clasificación de lesiones y causas

Tabla 1 Clasificación de lesiones y causas

Tipo de lesión	Localización	Severidad	Causa probable
Fisuras diagonales	Muros portantes	Moderada	Cortante + asentamientos diferenciales
Fisuras horizontales	Unión muro-viga	Moderada	Deficiencia constructiva
Humedad ascendente	Zócalos interiores	Moderada	Ausencia de barrera impermeable
Desprendimiento de revoque	Fachadas expuestas	Leve-moderada	Intemperie + mala calidad de mortero

Tipo de lesión	Localización	Severidad	Causa probable
Corrosión en confinamientos	Fachada principal	Moderada	Carbonatación + recubrimiento insuficiente
Asentamiento diferencial	Cimentación de fachada	Severa	Terreno blando + zapatas deficientes

Nota: Fuente Propia (2025).

11.5. Síntesis del diagnóstico

El análisis confirmó que la vivienda presenta un conjunto de lesiones críticas y acumuladas que reducen significativamente su capacidad estructural. La presencia simultánea de asentamientos, fisuras diagonales y corrosión en los elementos de confinamiento, indica que la edificación se encuentra en condición de alta vulnerabilidad y requiere intervenciones urgentes.

12. Estudio patológico según los requerimientos del paciente

Para la realización de un estudio patológico se hace necesario una serie de procedimientos que permiten concluir las técnicas de reforzamiento y rehabilitación que requiere cada paciente en particular. Para este caso se optó por el desarrollo metodológico que establece en orden jerárquico, una inspección visual, una historia clínica, ensayos y diagnósticos, determinación de las causas de las patologías, su evaluación y por último una propuesta de rehabilitación.

Cada etapa estará constituida por una serie de pasos y requisitos que pueden realizarse o no de manera simultánea. Para cada etapa tenemos:

1. Visita al paciente de estudio – inspección visual: Se recopila información relevante sobre la edificación, como planos, estudios geotécnicos, informes fotográficos, localización, uso entre otras.
2. Historia clínica: Se realiza una evaluación general de la edificación, identificando lesiones, daños y deterioros en los diferentes elementos constructivos, además de la realización de fichas patológicas, determinando causas y posibles soluciones.
3. Plan de ensayos y diagnósticos: Se llevan a cabo pruebas y análisis, tanto destructivos como no destructivos, para determinar la gravedad y extensión de los daños, y para identificar las causas.
4. Determinación lesiones, causa, origen y evolución: Se analiza la información recopilada para establecer el origen de los problemas, su evolución en el tiempo y su estado actual.
5. Propuesta de Intervención: Se diseñan soluciones y medidas para reparar o rehabilitar los elementos afectados, considerando la gravedad de los daños y las características de la edificación.

Lo anterior se desarrolla de la siguiente manera:

12.1.1. Visita al paciente de estudio – inspección visual

Además de la inspección visual en el sitio de la obra, se realizó una investigación preliminar que incluye, la geolocalización, clima, humedad, pluviosidad del sector, uso, tipo de edificación, sistema constructivo, fecha tentativa de construcción etc., se presenta ficha de con la información relacionada a la inspección visual o visita a la obra, la ficha en mención se puede revisar el anexo 1.

12.1.2. Historia Clínica

La historia clínica del inmueble incluye el registro de las patologías observadas, la cronología de eventos relevantes, las intervenciones anteriores y el comportamiento de la estructura frente a factores ambientales y de uso.

Se evidencian síntomas como fisuras verticales y diagonales en muros portantes, deterioro de los acabados interiores por humedad, corrosión en elementos metálicos expuestos, y deformaciones menores en elementos de cubierta. Estas lesiones han evolucionado sin un seguimiento técnico sistemático, y algunas han sido tratadas empíricamente sin resultados duraderos.

La edificación presenta antecedentes de sobrecarga por cambios de uso y deficiencias en el drenaje pluvial, lo que ha contribuido a la persistencia de humedades y al debilitamiento de los materiales, se anexan fichas, revisar anexo 3.

12.1.3. Plan de ensayos y diagnóstico

Para la elaboración de la inspección y los ensayos, primero se realizó una visita de campo para comprobar de manera preliminar el estado actual de la edificación. Surgido este primer paso se concluye que la edificación requiere un estudio de patología y un plan de ensayos, que contemplen, ensayos de campo y de laboratorio, además de ensayos destructivos y no destructivos.

Ensayos:

Para la determinación de los ensayos que se van a realizar se tiene en cuenta el uso de estos resultados para determinar la estabilidad global de la estructura.

Ensayos no destructivos: inspección visual, esclerometría, ferroskan, medición de humedad.

Ensayos destructivos: extracción de testigos, ensayos de carga, pruebas de penetración.

El resumen y localización de estos ensayos se presentan en el plano de localización de patologías y ensayos. Ver anexo 5 de planos.

Se cuenta con los siguientes planos:

Ensayos: 1 de 1, Plano de ensayos

Lesiones: 1 de 3, Planta de plano de lesiones

2 de 3, Corte de plano de lesiones

3 de 3, Plano de lesiones en fachada

12.1.4. Determinación de lesiones, causas y evaluación

Resumen de lesiones y causas identificadas

1. Fisuras en columnas y muros por asentamiento diferencial

Causa: Procesos físicos en el suelo (consolidación primaria) que generan agrietamiento al no estar la estructura diseñada para tolerar movimientos.

Tipo de lesión: Mecánica – física.

Prevención: Reforzamiento de cimentación y monitoreo estructural.

2. Fisuras por degradación química y biológica del concreto

Causa: Cambios climáticos, reacciones químicas y envejecimiento biológico que reducen la calidad del concreto y revoques.

Tipo de lesión: Química – biológica.

Prevención: Impermeabilización, reparación con epóxicos o sustitución de acabados.

3. Humedad por filtración y capilaridad en muros, vigas y columnas

Causa: Alta porosidad de materiales y deficiencias en impermeabilización, agravadas en temporada de lluvias.

Tipo de lesión: Física – química.

Prevención: Impermeabilizar cubiertas y cimentaciones, control de filtraciones.

4. Afectación química en pisos y contrapisos

Causa: Reacciones químicas en suelos y morteros (cambios de pH) que deterioran adhesivos y materiales de acabado.

Tipo de lesión: Química.

Prevención: Control químico del pH, limpieza y protección de soportes.

5. Suciedad, erosión y lavado diferencial en fachadas y muros

Causa: Filtraciones por geometría desfavorable, lluvia y contaminación ambiental.

Tipo de lesión: Física.

Prevención: Mantenimiento periódico, impermeabilización y aplicación de recubrimientos protectores.

6. Corrosión y oxidación de acero de refuerzo

Causa: Pérdida de alcalinidad del concreto y exposición a humedad y agentes agresivos.

Tipo de lesión: Química – mecánica.

Prevención: Impermeabilización, sustitución de acero corroído y reparación del concreto circundante.

Tabla 2 Resumen de lesiones

Nº	Lesión identificada	Tipo de lesión (según Broto)	Causa principal	Prevención / Control
1	Fisuras en columnas y muros por asentamiento diferencial	Mecánica – física	Asentamiento diferencial del terreno por consolidación primaria y cimentación deficiente	Reforzamiento de cimentación y monitoreo estructural
2	Fisuras por degradación química y biológica del concreto y revoques	Química – biológica	Cambios climáticos, reacciones químicas internas y colonización biológica	Impermeabilización, reparación con resinas epóxicas, sustitución de acabados
3	Humedad por filtración y capilaridad en muros, vigas y columnas	Física – química	Alta porosidad de materiales, deficiencia en impermeabilización y lluvias prolongadas	Impermeabilización de cubiertas y cimentaciones, control de filtraciones
4	Afectación química en pisos y contrapisos	Química	Reacciones químicas en suelos y morteros que alteran adhesivos y materiales de acabado	Control químico del pH, limpieza y sellado de superficies
5	Suciedad, erosión y lavado diferencial en fachadas y muros	Física	Filtraciones por geometría desfavorable, lluvia y contaminación ambiental	Mantenimiento periódico, recubrimientos protectores e impermeabilización

Nº	Lesión identificada	Tipo de lesión (según Broto)	Causa principal	Prevención / Control
6	Corrosión y oxidación de acero de refuerzo	Química – mecánica	Carbonatación, pérdida de alcalinidad y exposición a humedad y agentes agresivos	Sustitución de acero corroído, reparación del concreto y protección catódica

Nota: Fuente Propia (2025).

El análisis de patología incluye causas y manifestaciones de posibles lesiones en la estructura, para condensar la información en las fichas de patología, se establecen y numeran las posibles causas que se revisaran, las cuales son las siguientes con su respectivo indicativo:

Manifestaciones

- Lesiones Mecánicas
 - Grietas [1]
 - Fisuras [2]
 - Desprendimientos [3]
 - Erosión [4]
 - Socavación [5]
- Lesiones Físicas
 - Humedad [6]
 - Suciedad [7]
 - Erosión [8]
- Lesiones Químicas
 - Eflorescencias [9]
 - Oxidación [10]
 - Corrosión [11]
 - Organismos [12]

En consecuencia, con las fichas de tipificación de lesiones se anexa el plano extendido de localización de lesiones, el cual se puede evidenciar en el anexo 5 de planos, para mostrar los lugares donde se repite cada manifestación.

12.1.5. Propuesta de Intervención

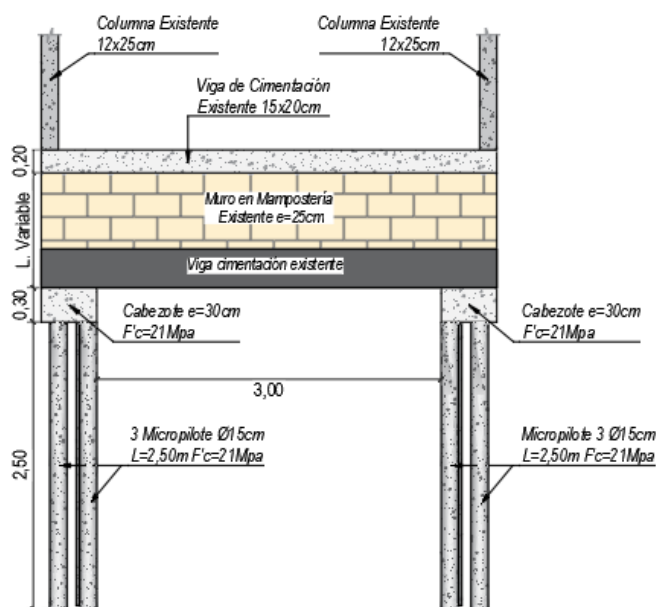
Con base en el estudio de patología del paciente y teniendo en cuenta los requerimientos específicos para cada proceso patológico, identificando, el síntoma, la causa y el origen se plantea la siguiente propuesta de intervención.

En resumen, se encontraron 4 tipos de lesiones, caracterizadas desde la más grave, pasando por la moderada y la de menor levedad.

12.1.5.1. Propuesta de Intervención de grietas y fisuras

Para este caso en particular se determinó que el origen de este tipo de lesiones se debe a problemas relacionados con la capacidad mecánica del suelo, las investigaciones sugieren suelos orgánicos que se comprimen o expanden con la presencia del agua, lo que los hace susceptible a deformaciones plásticas, asentamientos, provocando un ajuste en las fuerzas de tensión de la mampostería que genera grietas y fisuras, además considerando la fragilidad de este tipo de elementos se recomienda en todos los caso una propuesta de reforzamiento de la cimentación con algún tipo de cimentación profunda, debido al espesor de la capa vegetal del suelo en el sitio del paciente. Al menos debe considerarse como profundidad mínima de desplante de la propuesta de intervención 2.80 m y deben reforzarse todas las vigas en todos los sentidos sin que este reforzamiento supere los 3 m de distancia. (ver detalle constructivo propuesto), el cual se puede evidenciar en el anexo 5 de planos.

Ilustración 1 Propuesta detalle de cimentación



Nota: Tomado de Fuente propia (2025)

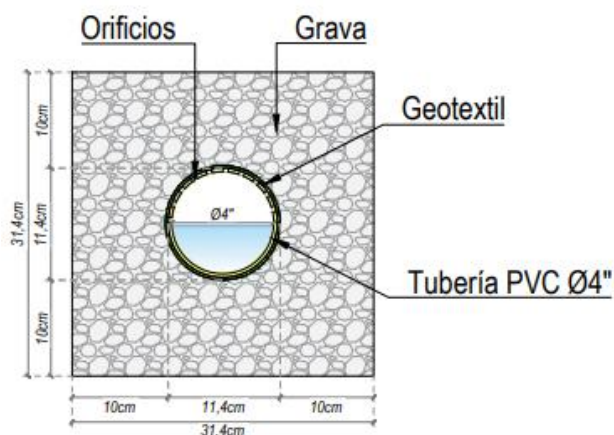
Surgido el reforzamiento de la cimentación, la reparación de la mampostería puede incluir, mallas, algún tipo de aditivo epóxico (flexible o rígido) y finalmente la sustitución de la mampostera.

12.1.5.2. Control y manejo de lesiones por humedad capilar o infiltración

Teniendo en cuenta la pluviosidad de la zona, se estima que llueve 250 días del año se recomienda para el control de la humedad por capilaridad la instalación de un filtro francés que controle el nivel freático y el ascenso del agua hacia la mampostería.

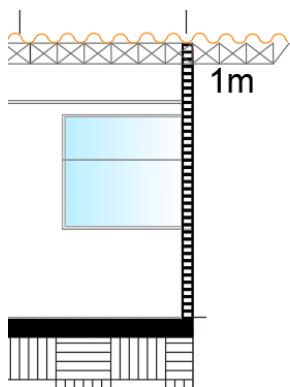
Para el control de lesiones de humedad por infiltración y considerando el estado de la cubierta existente, se recomienda la instalación de una cubierta con hojas de acero galvanizado, con las pendientes mínimas recomendadas por el fabricante y que al menos está cubierta cubra 1 m más del volado en todas las direcciones del paciente.

Ilustración 2 Sección transversal filtro francés



Nota: Tomado de Fuente propia (2025)

Ilustración 3 Esquema básico en elevación de aislamiento pluvial de fachadas, laterales y frontales a nivel de cubierta



Nota: Tomado de Fuente propia (2025)

Los síntomas y lesiones producidos por la humedad pueden incluir eflorescencias que se controlan con ácidos y sustancias químicas especializadas para este tipo de lesiones.

El deterioro, como por ejemplo la carbonatación del concreto y la corrosión del acero, pueden para este caso en particular evaluarse de la siguiente manera:

- Cuando se evidencie un proceso de carbonatación del concreto en algún elemento de la estructura, este elemento no puede repararse y por lo tanto se debe sustituir el concreto, mediante un procedimiento metodológico ya establecido, que incluye picar, retirar e instalar nuevo concreto.
- Cuando se prevea que algún elemento estructural, por estar sometido a deterioro producto de la humedad, sin que llegue a presentarse la carbonatación del concreto o que la carbonatación del concreto este en una fase leve, esté si se puede recuperar mediante el uso de epóxicos o pinturas de poliuretano o alguna combinación de aditivos que frene el avance del CO₂ en el concreto.
- La corrección de la corrosión del acero en el paciente presenta la misma metodología de reparación que la carbonatación del concreto, cuando se evidencie corrosión del acero, este material debe ser sustituido, además debe eliminarse químicamente la presencia de la oxidación mediante el uso de pinturas, inhibidores de oxidación o aditivos químicos en las mezclas de concreto que previenen la oxidación del refuerzo principal.

12.1.5.3. Control de lesiones producto de la suciedad

En gran parte este paciente presenta deterioro producto de la suciedad, esto incluye desprendimientos, exposiciones a la humedad, erosión entre otras. Para este caso se recomienda la eliminación de todos los materiales de acabado que presenten un color y formas atípicas, mediante un proceso manual o mecánico, para cual se debe instalar nuevamente los acabados con productos que mejoren la adherencia, seguido de una limpieza y finalmente la instalación de pintura en aceite u agua de tipo lavable que perdure y pueda mantenerse en el tiempo.

13. Resultados

El proceso de diagnóstico patológico junto con la aplicación del Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), realizado en la vivienda seleccionada en el municipio de San Francisco (Putumayo), permitió obtener resultados complementarios que dejan en evidencia las limitaciones del enfoque puramente normativo y la importancia de incorporar un análisis patológico integral en la evaluación estructural.

13.1. Evaluación según el Comité AIS 410-23 de la Norma NSR-10

La aplicación del método establecido por el Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) arrojó los siguientes resultados técnicos:

- Porcentaje de Muros Existentes (PME): 6,4 %, valor considerablemente inferior al mínimo exigido para edificaciones de este tipo.
- Porcentaje de Muros Requerido (PMR): 17,13 %, indicador que se considera aceptable para garantizar una estabilidad estructural adecuada.
- Índice de Vulnerabilidad Estructural (IVE): 1,68, lo cual califica a la construcción de alta vulnerabilidad estructural.
- Factor de Calidad (CQ): bajo, sobre todo debido a las deficiencias constructivas detectadas, al desgaste gradual de los materiales y a la ausencia de mantenimiento preventivo durante un periodo prolongado.

Estos hallazgos muestran que la vivienda no satisface los niveles mínimos de seguridad estructural según la normatividad vigente. En consecuencia, se considera prioritaria la ejecución de medidas de intervención y refuerzo, con el fin de prevenir un deterioro mayor y reducir el riesgo de fallas estructurales frente a posibles eventos sísmicos.

13.2. Resultados del diagnóstico patológico

El estudio patológico amplió significativamente la información obtenida a través del método normativo, al permitir la identificación directa de lesiones que inciden de forma determinante en la capacidad resistente del inmueble. Entre los hallazgos más relevantes se destacan:

- Fisuras diagonales y horizontales en muros portantes y en las uniones estructurales, asociadas a esfuerzos de cortante y diferencias de asentamiento.
- Humedad ascendente y desprendimiento de revoques, estos fenómenos aceleran el deterioro tanto de los materiales de acabado como de los

elementos estructurales de soporte, reduciendo su capacidad de protección y resistencia frente a agentes externos.

- El acero pierde el recubrimiento y el concreto se carbonata, lo que causa corrosión en los elementos de confinamiento; esto pone en peligro la unión entre el concreto y el acero, debilitando así la estructura.
- Los asentamientos diferenciales en la cimentación provocan que las cargas se redistribuyan de manera irregular, lo cual modifica el equilibrio del sistema estructural y reduce su estabilidad. Esto incrementa la posibilidad de que aparezcan deformaciones y grietas considerables.

La información obtenida a partir de fichas de inspección visual, registros fotográficos y ensayos no destructivos permitió clasificar la severidad de cada lesión y establecer su posible origen. Esta correlación entre causas y efectos fue clave para formular una valoración más precisa del estado estructural real de la vivienda, complementando los resultados derivados del análisis normativo.

13.3. Comparación entre diagnóstico patológico y AIS 410-23

La comparación entre ambos enfoques revela lo siguiente:

Tabla 3 Comparación entre AIS 410-23 y diagnostico patológico

Aspecto evaluado	Estudio patológico	AIS 410-23	Observación
Lesiones visibles (fisuras, humedad, corrosión)	Registradas en fichas y planos	Considera las lesiones como consecuencia de un efecto pre establecido en la cimentación	La norma no incorpora criterios de patología visible.
Estado de materiales	Clasificación por severidad	Valor indirecto en CQ, que depende del profesional que desarrolla la metodología, además es un factor que se establece estrictamente para la mampostería y condiciona el resto de la estructura	El CQ, es un índice cuantitativo y aunque refleja en parte la condición constructiva, la severidad está relacionada del criterio y objetividad del ingeniero profesional a cargo del estudio.
Vulnerabilidad estructural	Alta, con riesgo localizado en muros y cimentación	Alta (IVE 1.68)	Ambos coinciden, pero por métodos distintos.
Información para intervención	Priorización por severidad y tipo de lesión	Factores globales (PAM, IVE)	El diagnóstico normativo ofrece indicadores globales, pero no refleja la localización

Aspecto evaluado	Estudio patológico	AIS 410-23	Observación
			ni la severidad puntual de las lesiones.

Nota: Fuente Propia (2025).

13.4. Priorización de intervenciones

Con base en los hallazgos obtenidos durante la evaluación, se definió un plan de intervención escalonado que permite atender las necesidades estructurales de manera ordenada y progresiva:

- Acciones inmediatas (0–1 mes): apuntalamientos temporales en las áreas afectadas por los asentamientos diferenciales, así como sellado provisional de las fisuras más abiertas, para prevenir un deterioro rápido y asegurar la estabilidad del edificio.
- Acciones prioritarias (1–3 meses): Ejecutar trabajos de recalce en las cimentaciones, reemplazar los componentes metálicos corroídos y aplicar tratamientos para controlar la humedad ascendente en los zócalos, con el objetivo de recuperar la capacidad portante y detener el progreso del deterioro.
- Acciones programadas (3–12 meses): Aplicación de refuerzos en los muros portantes utilizando métodos apropiados de confinamiento, que se complementan con la reconstrucción parcial de las paredes que muestran un daño estructural grave.
- Acciones preventivas (anuales): Estableciendo un plan de mantenimiento periódico y formación de un comité comunitario para supervisión, que será responsable de comprobar la condición de la vivienda y el cumplimiento de las medidas correctivas sugeridas.

Este esquema de priorización facilita una gestión técnica y socialmente viable, ajustada a la capacidad de intervención del propietario y al nivel de riesgo identificado.

13.5. Impacto de la integración

La articulación del diagnóstico patológico con la aplicación del Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) permitió obtener una visión más completa y objetiva del estado real de la vivienda. Entre los principales efectos de esta integración se destacan:

- Se disminuye el carácter subjetivo en la evaluación del Factor de Calidad (CQ) al incluir las pruebas físicas durante el diagnóstico patológico.

- Reconocimiento de daños que no están incluidos en la metodología normativa, como son la corrosión de partes metálicas, la humedad ascendente y el despegue de revestimientos.
- Se establecen ordenes de prioridades, que facilita la toma de decisiones técnicas y la distribución de recursos en la etapa de intervención.

El análisis del caso demuestra que la integración del enfoque patológico con la aplicación normativa no solo es viable y complementaria, sino que resulta imprescindible para lograr una evaluación más precisa y realista de las viviendas informales situadas en zonas de alta amenaza sísmica.

13.6. Síntesis de hallazgos

Del proceso de análisis integral se derivan las siguientes conclusiones técnicas:

- El diagnóstico patológico aporta una caracterización detallada y localizada de las lesiones, sus causas probables y sus efectos sobre la estabilidad de la edificación.
- El Comité AIS 410-23 de la Norma NSR-10 es un instrumento valioso para calcular la vulnerabilidad total, tiene algunas restricciones en términos metodológicos porque no toma en cuenta el estado patológico de los componentes estructurales.
- La combinación de las dos perspectivas posibilita la realización de evaluaciones más exhaustivas y exactas, lo cual a su vez ayuda a elaborar estrategias de intervención según el nivel real de daño y las condiciones constructivas específicas de cada edificio.

En conjunto, estos resultados resaltan la importancia de adoptar metodologías interdisciplinarias, capaces de articular la ingeniería estructural con la patología de la construcción. Este enfoque resulta especialmente valioso para el análisis, recuperación y mejora de viviendas construidas informalmente ubicadas en zonas con altos movimientos sísmicos, donde la comprensión del daño se convierte en una herramienta clave en la toma de decisiones frente a las vulnerabilidades.

14. Discusiones

El análisis realizado en la vivienda de San Francisco, Putumayo, pone en evidencia la brecha que existe entre los requerimientos del comité AIS 410-23 de la norma NSR-10 y las condiciones reales de las edificaciones informales en Colombia. Si bien la norma constituye un avance importante para la evaluación de construcciones existentes, su aplicación aislada resulta insuficiente para capturar la complejidad de los daños presentes en edificaciones autoconstruidas.

Uno de los descubrimientos más relevantes del estudio es que la norma se enfoca en parámetros globales, por ejemplo el índice de vulnerabilidad estructural (IVE), el porcentaje de muros en una dirección (PME) y el factor de calidad (CQ). No obstante, no incluye un protocolo minucioso para registrar los daños visibles ni para evaluar las causas subyacentes que contribuyen a la degradación, como lo son la corrosión, la humedad o los asentamientos diferenciales.

En consecuencia, si no se tiene en cuenta la información que proviene del diagnóstico patológico y se aplica rigurosamente la norma, esto puede llevar a decisiones de intervención imprecisas y a valoraciones incompletas, porque se ignoran aspectos fundamentales acerca de las condiciones reales de la construcción y los procesos que causan el daño.

Por otro lado, el diagnóstico patológico posibilitó la determinación precisa del origen y la gravedad de los perjuicios. Al combinar esta perspectiva con la aplicación normativa, se logró establecer un marco de análisis más sólido que proporciona beneficios prácticos:

- Mayor objetividad en el CQ, al sustentarse en evidencias verificables y no solo en apreciaciones del evaluador.
- Priorización de intervenciones, lo que orienta mejor la toma de decisiones y el uso de recursos limitados.
- Adaptación al contexto informal, en este tipo de edificaciones, la ausencia de planos estructurales y diseños técnicos convierte a la inspección visual y a los ensayos no destructivos en herramientas fundamentales para el diagnóstico y la toma de decisiones.

La discusión de los resultados revela un reto metodológico significativo: la urgencia de formalizar los protocolos que integren de manera efectiva la patología de la construcción con la normativa estructural vigente. Este avance resulta esencial para que en futuras revisiones del Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) se incluyan criterios más precisos, ajustados a la realidad de las construcciones informales de vivienda, las cuales, en su mayoría, carecen de acompañamiento técnico desde sus inicios.

Los hallazgos obtenidos evidencian un impacto social y técnico. Desde la parte social, este trabajo proporciona herramientas que ayudan a las comunidades a comprender mejor el riesgo estructural al que están expuestas sus viviendas, fortaleciendo su capacidad para exigir intervenciones seguras y responsables. Desde la parte técnica, los resultados aportan información verificable y útil para que los ingenieros, las autoridades locales y las entidades de control puedan orientar de forma más eficiente, para los programas de mejoramiento y reforzamiento estructural, priorizando aquellas edificaciones con mayor vulnerabilidad.

Asimismo, la investigación deja abiertas varias líneas de trabajo que podrían enriquecer el campo de estudio, entre ellas:

- Diseñar protocolos simplificados de inspección, que puedan ser aplicados por técnicos locales con una formación básica, ampliando así la cobertura del diagnóstico en zonas rurales o de difícil acceso.
- Validar la metodología integrada en un número mayor de casos, con el fin de evaluar su aplicabilidad en diferentes regiones y tipologías constructivas.
- Incorporar ensayos complementarios como la termografía infrarroja o el georradar, que permitan obtener información más precisa sin recurrir a pruebas destructivas de alto costo.

En conjunto, la discusión confirma que combinar el enfoque del Comité AIS 410-23 de la Norma NSR-10 con la patología de la construcción constituye una alternativa viable y necesaria para mejorar la evaluación de la vulnerabilidad estructural en viviendas informales. Este enfoque integrado representa un paso hacia metodologías más completas, realistas y aplicables al contexto colombiano, donde la autoconstrucción sigue siendo una práctica dominante.

15. Conclusiones

El estudio patológico constituye un insumo esencial en la evaluación de viviendas informales porque analiza la gama de probabilidades que afectan la estructura y generan síntomas en ella, en este procedimiento de intervención, se reduce las opciones que afectan la estructura hasta encontrar el origen y establece la solución de la intervención, teniendo como filosofía de trabajo la reparación definitiva de la causa que genera la lesión.

La aplicación de lo establecido por el comité AIS 410-23, establece una serie de requisitos cuyo objetivo es determinar la vulnerabilidad de la estructura, tomando como base el estado de los elementos que componen la estructura y no consideran los procesos patológicos que generan los síntomas de lesiones en las estructuras, este enfoque determinista tiene como consecuencia un salto de información que genera acciones en la propuesta de intervención que no satisfacen a cabalidad la mitigación de la vulnerabilidad.

La metodología integrada de estudio patológico y la norma nacional para la ejecución de propuestas de intervención, generan un ambiente probabilístico que permite la iteración del paciente con las leyes de construcción existente, su diagnóstico y reparación, evitando el método determinista que establece una serie de pasos que podrían eventualmente no abarcar la totalidad de las cusas que afectan la variedad de estructuras a las que se les puede aplicar la norma de análisis.

La vivienda estudiada presenta una condición de alta vulnerabilidad estructural, tanto el resultado del IVE (1,68) como las patologías identificadas evidencian que la edificación no ofrece condiciones mínimas de seguridad ante un evento sísmico. Se requieren acciones urgentes que incluyan reforzamiento de cimentaciones, refuerzo de muros portantes, control de humedad y tratamiento de elementos con procesos de oxidación y corrosión, estas intervenciones, aunque requeridas en el AIS410-23 no establecen un mecanismo más riguroso de análisis que permita identificar si después de la intervención, la evolución de las lesiones tienda a ser nula.

Este trabajo constituye un aporte técnico y social al estudio de la construcción de la vivienda informal en Colombia. Desde el punto de vista técnico, se sugiere un método que puede ser replicado y que consigue conectar la patología constructiva con las normas estructurales en vigor, mejorando los procedimientos de evaluación y decisión en cuanto a intervención. Desde un punto de vista social, instrumentos que posibilitan la sensibilización de las comunidades y las autoridades locales acerca del riesgo estructural al que se enfrentan miles de casas autoconstruidas en regiones con una amenaza sísmica elevada, fomentando así una cultura de prevención y seguridad.

De esta manera, el estudio inicia nuevas vías de trabajo en los ámbitos académico y normativo, con la finalidad de optimizar la gestión del riesgo en construcciones ya existentes. Para conseguir evaluaciones más completas, fiables y adecuadas al contexto, se aconseja que en las siguientes actualizaciones del Comité AIS 410-23 de la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) se añadan obligatoriamente protocolos de inspección patológica y la realización de pruebas no destructivas. De esta manera, se sugiere replicar la metodología en diferentes regiones para validar su aplicabilidad y formar técnicos locales que puedan llevar a cabo diagnósticos básicos de manera sistemática.

16. Referencias

American Society of Civil Engineers (ASCE). (2017). ASCE/SEI 41-17: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

Arango, S., & Bernal, A. (2000). Evaluación estructural de edificaciones de mampostería. Universidad de los Andes.

Arango, M., & Bernal, M. (2000). *Caracterización mecánica de la mampostería para diseño estructural*. Universidad de los Andes.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2023). *Norma AIS 410-23: Evaluación y rehabilitación sísmica de edificaciones de mampostería de uno, dos y tres pisos*. Bogotá: AIS.

Avilés, J., & Pérez-Rocha, L. E. (2011). *Evaluación de la demanda sísmica en edificaciones de mampostería*. Revista de Ingeniería Sísmica, (85), 1–32.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200004

Barbat, A. H., Cardona, O. D., Marulanda, M. C., & Ordaz, M. (2010). Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico en América Latina. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 26(3), 161-181.
<https://doi.org/10.1016/j.rimni.2010.07.002>

Bernal, G. A. (2018). Patologías en edificaciones de mampostería y alternativas de intervención. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Broto, C. (2004). *Enciclopedia de patologías de la construcción*. Barcelona: Links Books.

Cardona, O. D. (2001). Estudio de la vulnerabilidad sísmica en Colombia: Análisis de riesgos y vulnerabilidad estructural. Universidad Nacional de Colombia.

Cardona, O. D. (2004). The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management. In Bankoff, G., Frerks, G., & Hilhorst, D. (Eds.), *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People* (pp. 37-51). Earthscan.

DANE. (2022). Condiciones de la vivienda en Colombia: Encuesta de Calidad de Vida. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co/>

Decreto 926 de 2010 [Presidencia de la República de Colombia]. Por el cual se actualiza el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Decreto 1401 de 2023 [Presidencia de la República de Colombia]. Modificación de la NSR-10 e incorporación de la Norma AIS 410-23.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1998). Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings (FEMA 306/307). Washington, DC: FEMA.

Flores-Johnson, E. A., Carrillo, J., & Hernández-Montes, E. (2015). *Desempeño sísmico de edificios de mampostería confinada en México: revisión y tendencias*. Revista de Ingeniería Sísmica, (92), 1–24.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112015000200004

Instituto Superior Tecnológico Luis Rogerio González. (s.f.). *Mampostería confinada*.
https://evirtual401.insteclrg.edu.ec/pluginfile.php/8283/mod_resource/content/1/MAMPOSTERIA_CONFINADA.pdf

Ley 400 de 1997 [Congreso de Colombia]. Por la cual se adopta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

Martínez-Rueda, J. E. (2013). *Diseño sísmico de edificios de mampostería estructural con base en desempeño*. Revista de Ingeniería Sísmica, (89), 1–36.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112013000200001

National Information Service for Earthquake Engineering (NISEE). (s.f.). *Fallo de un muro en la parte superior del edificio por mala conexión. Sismo de Chile*. Universidad de California, Berkeley. Recuperado de <http://nisee.berkeley.edu>

National Information Service for Earthquake Engineering (NISEE). (s.f.). *Grietas formadas por tensión diagonal*. Universidad de California, Berkeley. Recuperado de <http://nisee.berkeley.edu>

National Information Service for Earthquake Engineering (NISEE). (s.f.). *Ejemplo de fallas por flexión*. Universidad de California, Berkeley. Recuperado de <http://nisee.berkeley.edu>

Peralta Buriticá, H. (2002). *Escenarios de vulnerabilidad y daños sísmicos de las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio, Cali, Colombia* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle.

Prezi. (s.f.). *Mampostería no reforzada*. Recuperado el 10 de abril de 2025, de <https://prezi.com/rzgxpfq0iq7u/mamposteria-no-reforzada/>

Reyes, F. J. (2015). Evaluación de vulnerabilidad sísmica en viviendas informales de Bogotá mediante métodos simplificados. Revista de Ingeniería Civil, 18(2), 45-58.

Sandoval, C. (2004). Evaluación de edificaciones de mampostería y comportamiento ante carga sísmica. Universidad Nacional de Colombia.

Sandoval, C. (2004). *Curva esfuerzo-deformación de la mampostería*. Universidad Nacional de Colombia.

Sánchez, L., & Hernández, M. (2021). Aplicación de metodologías de evaluación rápida para viviendas de mampostería en Bogotá. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Sísmica*, 5(1), 15-30.