



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

TEMA

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE ESTRUCTURAS EN CONSTRUCCIÓN
MIXTAS DE USO RESIDENCIAL, UBICADAS EN LA INTERSECCIÓN DE LAS CALLES
CUENCA Y ESMERALDA**

TUTOR

Mgtr. Ing. LUIS FERNANDO VILLAVICENCIO CAVERO

AUTOR

XAVIER ANTONIO ZAMBRANO SANCHEZ

GUAYAQUIL

AÑO 2025

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Evaluación preliminar del riesgo de estructuras en construcción mixtas de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil

AUTOR/ES:

Zambrano Sánchez Xavier Antonio

TUTOR:

Mgr. Ing. Luis Fernando Villavicencio Cavero

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil

Grado obtenido:

Ingeniero civil

FACULTAD:

INGENIERIA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCION

CARRERA:

INGENIERIA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2025

N. DE PÁGS:

84

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Reducción del riesgo de desastres, Vivienda, Amenaza natural.

RESUMEN:

Esta tesis tiene como objetivo realizar un análisis inicial sobre los riesgos que enfrentan las estructuras en proceso de edificación en ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en Guayaquil, caracterizada por un crecimiento urbano acelerado y una mezcla de usos residenciales y comerciales. El estudio se enfoca en evaluar los factores que influyen en la seguridad estructural de estas construcciones, tales como el tipo de materiales utilizados, las condiciones del suelo, las cargas previstas y la estabilidad de la infraestructura.

Para ello, se lleva a cabo una revisión detallada de las normativas de construcción locales, se inspeccionan las características de las obras en construcción y se analizan los peligros asociados a la ubicación, como la proximidad a áreas de alto riesgo sísmico, inundaciones o posibles deslizamientos de tierra. Además, se incorporan herramientas

y métodos de evaluación de riesgos estructurales, basados en análisis de vulnerabilidad y métodos cualitativos y cuantitativos.

El resultado esperado de esta investigación es identificar posibles fallas estructurales o deficiencias en el diseño y construcción de las edificaciones en esta área, proponiendo medidas preventivas y correctivas que garanticen la seguridad de los habitantes y la sostenibilidad de la infraestructura en el futuro.

N. DE REGISTRO (en base de datos):

N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:

SI

NO

CONTACTO CON AUTOR/ES:

Zambrano Sánchez Xavier Antonio

Teléfono:

E-mail:

xzambranos@ulvr.edu.e

[c](#)

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

PhD. Marcial Calero Amores

Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241

E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec

Mgtr. Jorge Torres Rodríguez

Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 242

E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Evaluación preliminar del riesgo de estructuras en construcción mixtas de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil

INFORME DE ORIGINALIDAD

6% INDICE DE SIMILITUD	7% FUENTES DE INTERNET	2% PUBLICACIONES	5% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	www.cicp-ec.com Fuente de Internet	2%
2	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil Trabajo del estudiante	1%
5	www.studocu.com Fuente de Internet	1%
6	sgb.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado XAVIER ANTONIO ZAMBRANO SÁNCHEZ, declara bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Evaluación preliminar del riesgo de estructuras en construcción mixtas de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil, corresponde totalmente a el suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor

Firma:

XAVIER ANTONIO ZAMBRANO SÁNCHEZ
C.I. 0955165725

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación, Evaluación preliminar del riesgo de estructuras en construcción mixtas de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de ingeniería industria y construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Evaluación preliminar del riesgo de estructuras en construcción mixtas de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, presentado por el estudiante XAVIER ANTONIO ZAMBRANO SÁNCHEZ como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

Ing. Luis Fernando Villavicencio Cavero, Mgtr

C.C. 0920174026

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este camino lleno de desafíos, aprendizaje y crecimiento, hubo personas cuya presencia, amor y apoyo incondicional fueron fundamentales para que hoy pueda culminar esta etapa de mi vida.

En primer lugar, con todo mi corazón, agradezco a mi madre, Patricia Verónica Sánchez Gonzabay, mi más grande inspiración y fortaleza. Su amor inquebrantable, sacrificios y esfuerzo incansable han sido mi base para todo. Gracias por creer en mí incluso en los momentos en los que yo dudé de mí mismo. Esta meta es tan tuya como mía.

A mi querido tío Alex Sánchez Gonzabay, quien no solo fue un tío, sino un verdadero padre para mí. Desde que tengo memoria, su guía y enseñanzas han moldeado la persona que soy hoy. Su ejemplo de dedicación y carácter me ha acompañado en cada momento, y le estaré eternamente agradecido por haber sido mi guía y mi padre, ante todo.

A mi tío Adrián Sánchez y mi tía Marcela Morante, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y por estar siempre ahí cuando más los necesité. Su presencia ha sido un refugio de confianza y motivación.

A mis amados abuelos, Efraín Sánchez Costa y Leopoldina Beatriz Gonzabay Marcial, quienes, con su amor inmenso, su sabiduría y sus palabras llenas de aliento me dieron la fuerza para continuar. Su apoyo ha sido una bendición en mi vida, y cada uno de mis logros es también un reflejo del amor y los valores que me han inculcado.

A todos ustedes, que han sido mi familia, mi sostén y mi mayor inspiración, ¡les dedico este logro con todo mi amor y gratitud... porque este es mi camino ninja!

Gracias, de todo corazón.

- *XAVIER ANTONIO ZAMBRANO SÁNCHEZ*

-

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi madre, **Patricia Verónica Sánchez Gonzabay**, quien siempre ha sido mi mayor desafío y mi mayor amor. Porque con cada reto, con cada consejo y con cada palabra de aliento, me ha enseñado a ser fuerte, a esforzarme y a nunca rendirme. Sé que todo lo hace desde el amor más puro, y por eso, este logro es también suyo.

Gracias, mamá, por siempre creer en mí.

-ZamSam

RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo realizar un análisis inicial sobre los riesgos que enfrentan las estructuras en proceso de edificación en ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en Guayaquil, caracterizada por un crecimiento urbano acelerado y una mezcla de usos residenciales y comerciales. El estudio se enfoca en evaluar los factores que influyen en la seguridad estructural de estas construcciones, tales como el tipo de materiales utilizados, las condiciones del suelo, las cargas previstas y la estabilidad de la infraestructura.

Para ello, se lleva a cabo una revisión detallada de las normativas de construcción locales, se inspeccionan las características de las obras en construcción y se analizan los peligros asociados a la ubicación, como la proximidad a áreas de alto riesgo sísmico, inundaciones o posibles deslizamientos de tierra. Además, se incorporan herramientas y métodos de evaluación de riesgos estructurales, basados en análisis de vulnerabilidad y métodos cualitativos y cuantitativos.

El resultado esperado de esta investigación es identificar posibles fallas estructurales o deficiencias en el diseño y construcción de las edificaciones en esta área, proponiendo medidas preventivas y correctivas que garanticen la seguridad de los habitantes y la sostenibilidad de la infraestructura en el futuro.

Palabras Claves: Reducción del riesgo de desastres, Vivienda, Amenaza natural.

ABSTRACT

This thesis aims to conduct an initial analysis of the risks faced by structures under construction in this specific area of Guayaquil, characterized by rapid urban growth and a mix of residential and commercial uses. The study focuses on evaluating the factors that influence the safety of these constructions, such as the type of materials used, soil conditions, expected loads, and the stability of the infrastructure.

To this end, a detailed review of local construction regulations is carried out, the characteristics of the construction sites are inspected, and the hazards associated with the location are analyzed, such as proximity to high seismic risk areas, flooding, or potential landslides. Additionally, tools and methods for structural risk assessment are incorporated, based on vulnerability analysis and qualitative and quantitative methods.

The expected outcome of this research is to identify possible structural failures or deficiencies in the design and construction of buildings in this area, proposing preventive and corrective measures that ensure the safety of the inhabitants and the sustainability of the infrastructure in the future.

Keywords: Disaster risk reduction, Housing, Natural hazard

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE SIMILITUD	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	4
ENFOQUE DE LA PROPUESTA	4
1.1 Tema.....	4
1.2 Planteamiento del Problema.....	4
1.3 Formulación del Problema:	5
1.4 Objetivo General.....	5
1.5 Objetivos Específicos	6
1.6 Idea a Defender (investigaciones cualitativas o mixtas) / Hipótesis (investigaciones cuantitativas).....	6
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO REFERENCIAL	7
2.1 Marco Teórico.	7
2.1.1 Introducción a los sistemas sísmicos	8
2.1.2 Configuración Estructural.....	9
2.1.3 Problemas Comunes en Configuraciones Estructurales.....	10
2.1.4 Riesgo Sísmico en Estructuras Mixtas	10

2.1.4.1 Principales desafíos y factores a considerar en la evaluación del riesgo sísmico:.....	11
2.1.5 Métodos de Evaluación del Riesgo	13
2.1.6 Características de las Estructuras Mixtas.....	15
2.1.7 Normativas y Estándares de Diseño	16
2.1.8 Impacto de la Construcción Informal	18
2.1.9 Estrategias de Mitigación del Riesgo	21
2.2 Marco Legal	24
2.2.1 Normas Ecuatorianas De La Construcción.....	24
2.2.2 Normas extrajeras usadas para la norma NEC-SE-RE de las NECs.....	24
2.2.3 Otros Antecedentes	25
2.2.3.1 Vulnerabilidad Sísmica De Viviendas Unifamiliares Existentes De Una Zona Urbano– Residencial En Anconito, Ecuador.	25
2.2.3.2 Guía práctica para el diseño de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda GUÍA DE DISEÑO 4 estructuras de madera	25
2.2.3.3 Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015	26
2.2.3.4 “Diseño sismorresistente de una estructura mixta de 4 niveles, con interacción suelo estructura y diagonales rigidizadoras, para uso administrativo, enfocado a un suelo con características tipo E”	26
2.2.3.5 NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC NEC-SE-DS CARGAS SÍSMICAS DISEÑO SISMO RESISTENTE	27
2.2.3.6 Diseño sismo resistente, con instalaciones de servicios básicos, de una edificación de dos plantas en el Suburbio Oeste de Guayaquil	27
2.2.3.7 Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Populares Asentadas en Cerros y en el Sur de la Ciudad de Guayaquil	27
2.2.3.8 Vademécum Sobre Errores y Soluciones Durante Los Procesos Constructivos En Estructuras Mixtas	28
2.2.3.9 Sismo Resistencia De Viviendas Mixtas De Una Planta, Ubicadas En Pedernales, Provincia De Manabí	28

2.2.3.10 Riesgo Sísmico En El Sector García Moreno, Guayaquil Basado En Datos Sobre La Incidencia De Movimientos Telúricos.....	28
CAPÍTULO III.....	30
MARCO METODOLÓGICO	30
3.1 Enfoque de la investigación.....	30
3.2 Alcance de la investigación	31
3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos	31
3.3.1 Técnica de Observación	31
3.3.2 Entrevistas.....	32
3.3.3 Cuestionarios.....	32
3.3.4 Estudio de Caso.....	32
3.4 Población y muestra.....	33
CAPÍTULO IV	34
ANÁLISIS DE DATOS	34
4.1 Presentación de Análisis de Resultados.....	34
4.2 Entrevista a expertos.....	38
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estructura nueva.....	36
Tabla 2 Muestra de Edificación.....	36
Tabla 3 Concreto con formulación actual.....	37
Tabla 4 Comparación entre muestras.....	37
Tabla 5 Entrevista a Ingenieros Civiles.....	38
Tabla 6 Detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones.....	46
Tabla 7 Análisis casa 1.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Evidencia Fotográfica.....	65
------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo realizar una evaluación preliminar del riesgo de las estructuras en construcción de uso mixto (residencial y comercial) ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en Guayaquil. Se pretende analizar en detalle los factores estructurales y ambientales que puedan comprometer la seguridad de las edificaciones, lo que es crucial para garantizar la integridad de las personas que habitarán o trabajarán en estas construcciones. Dado que la zona presenta características geográficas y sísmicas particulares, es necesario abordar el estudio desde un enfoque multidisciplinario, considerando tanto las condiciones del terreno como los materiales utilizados en las obras.

La investigación se justifica debido a la creciente necesidad de mitigar los riesgos en las edificaciones ubicadas en áreas urbanas vulnerables a desastres naturales, como sismos e inundaciones. Guayaquil, al estar situada en una región con alta actividad sísmica y con un desarrollo urbano acelerado, requiere un análisis minucioso que permita anticipar posibles fallos estructurales. Esta evaluación preliminar se convierte en una herramienta esencial para detectar las deficiencias en las construcciones en curso y prevenir futuros incidentes. La seguridad de las personas y la durabilidad de las estructuras dependen en gran medida de la calidad de los materiales, la correcta implementación de las normativas de construcción, y la planificación adecuada según las características del entorno.

El estudio contempla un enfoque integral para la recolección de datos, que incluye diversas actividades como inspecciones visuales de las obras en construcción, análisis detallado de los planos arquitectónicos y estructurales, entrevistas con ingenieros, arquitectos y otros expertos involucrados en el proceso constructivo, así como la realización de pruebas de resistencia de compresión de concreto. Estas pruebas son fundamentales para evaluar la calidad del material utilizado, especialmente en las fases iniciales de la construcción, y determinar si cumple con los estándares de seguridad necesarios para resistir las cargas estructurales y los efectos de eventos sísmicos.

Las pruebas de compresión ayudarán a identificar posibles debilidades del concreto, que podrían poner en riesgo la estabilidad de las edificaciones.

La metodología que se empleará en este estudio consta de varias fases clave. En primer lugar, se llevará a cabo la recolección de datos a través de inspecciones y análisis técnicos. Luego, se procederá a una evaluación estructural para determinar la resistencia de las edificaciones ante cargas verticales y horizontales, especialmente considerando su exposición a sismos. Además, se realizarán pruebas específicas de resistencia de compresión de concreto, fundamentales para verificar si el material cumple con los requerimientos normativos. Otra fase importante será la simulación de riesgos sísmicos, utilizando herramientas tecnológicas que permitan modelar el comportamiento de las estructuras frente a diferentes magnitudes de terremotos. A su vez, se llevará a cabo un análisis de los riesgos ambientales que puedan afectar la zona, como inundaciones o deslizamientos de tierra, dado que las condiciones climáticas y geográficas de la región pueden amplificar estos peligros.

Finalmente, la investigación culminará con un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos, permitiendo elaborar recomendaciones prácticas y técnicas para mejorar la seguridad de las edificaciones. Esto incluirá sugerencias sobre el refuerzo de las estructuras, la selección de materiales más adecuados y la implementación de medidas preventivas ante posibles desastres naturales. A través de estas recomendaciones, se espera contribuir al desarrollo de normativas más estrictas en la construcción en áreas de alto riesgo, promoviendo un entorno urbano más seguro y resistente.

El propósito final de esta investigación es proporcionar información valiosa para mejorar la planificación urbana y las regulaciones de construcción en zonas de riesgo. Esto no solo garantizará la seguridad de los residentes y trabajadores, sino que también contribuirá a la sostenibilidad y durabilidad de las infraestructuras. Este estudio preliminar sienta las bases para investigaciones más detalladas que permitirán abordar los riesgos de manera más precisa y

eficiente, asegurando el desarrollo de una ciudad más segura ante amenazas naturales.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

Evaluación preliminar del riesgo de estructuras en construcción mixtas de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil

1.2 Planteamiento del Problema

En las últimas décadas, la estabilidad estructural de edificaciones mixtas en el suburbio de Sucre, en la ciudad de Guayaquil, construidas entre 1950 y 1990, ha sido objeto de una creciente preocupación a medida que estos edificios envejecen y presentan disfunciones estructurales inducidas por su diseño inadecuado. Las casas de interés nacional en esta área estaban originalmente hechas de un núcleo de madera recubierto de hormigón, y se construyeron sin cumplir con las normas de construcciones actuales, lo que las convierte en edificios inseguros en caso de un evento sísmico. Con el tiempo, las primeras señales de deterioro estructural de estas casas se han vuelto evidentes y sus daños han sido notorio, ya que pueden poner en peligro no solo la integridad estructural de la infraestructura en sí, sino también la seguridad de los residentes y transeúntes.

En este sentido, la ciudad de Guayaquil se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, que se debe a su cercanía a la convergencia de placas tectónicas. Además, su antigüedad combinada con el diseño inadecuado de las estructuras mixtas existentes en los edificios de la zona urbana Sucre multiplica significativamente las posibilidades de colapso durante un terremoto de alta magnitud. El deterioro progresivo de las cargas del núcleo de madera del edificio, combinado con altos niveles de humedad y daño biótico, ha dejado una severa marca en estructura de alto riesgo en esta zona.

Además, la investigación reciente ha revelado un nivel extremadamente alto de vulnerabilidad sísmica de tales edificaciones debido a la total falta de mantenimiento, la degradación de los materiales y defectos del diseño original. En tal caso, la falta de medidas apropiadas de fortalecimiento estructural y el continuo deterioro de los elementos estructurales constituyentes predispone a las construcciones a un nivel inaceptablemente alto de riesgo de colapso durante un terremoto. Por lo tanto, no solo es un peligro inminente para los residentes sino también una amenaza para la seguridad de la comunidad en general, teniendo en cuenta la densidad de tráfico peatonal de los distritos de mayor edad.

Este estudio tiene como objetivo analizar críticamente la peligrosidad sísmica de estas estructuras mixtas, identificar factores críticos que afectan su seguridad y proponer estrategias de mitigación basadas en consideraciones técnicas de resistencia sísmica así sugeridas y dadas confianza. En definitiva, la investigación pretende no sólo comprender la magnitud del problema, sino también aportar soluciones específicas que ayuden a mejorar la resiliencia de los edificios ante futuros terremotos.

1.3 Formulación del Problema:

¿Qué nivel de riesgo se encuentran las estructuras de construcción mixta de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil?

1.4 Objetivo General

- Realizar una evaluación preliminar del riesgo de estructuras en construcción mixta de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil

1.5 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado de las estructuras mixtas de uso residencial, ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil
- Determinar el factor de riesgo bajo la norma NEC-SE-RE FEMA 154
- Evidenciar los resultados de los datos tomados del riesgo de las estructuras de madera y hormigón

1.6 Idea a Defender (investigaciones cualitativas o mixtas) / Hipótesis (investigaciones cuantitativas)

Es necesaria una evaluación del riesgo estructural de edificaciones de construcción mixta, especialmente aquellas que muestren un estado considerable de deterioro, particularmente en el área de Sucre en la ciudad de Guayaquil para garantizar la seguridad de las estructuras y la protección de la vida humana. El objetivo del estudio es demostrar que estas estructuras tienen una alta vulnerabilidad estructural y debido a esta vulnerabilidad reformar el inmueble y tener la mejor opción al rehabilitar esta edificación. Por esta razón la vulnerabilidad no sólo socava la integridad de los edificios durante los terremotos, sino que también aumenta el riesgo de colapso, poniendo en riesgo a ocupantes y peatones. El desarrollo de un diseño de la estructura para identificar las necesidades de intervenciones para reparar, fortalecer y minimizar los daños y salvar vidas de propensos accidentes futuros.

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico.

En la investigación se tuvo en cuenta los siguientes antecedentes:

Toapanta (2023) señaló que los terremotos representan un gran desafío para la ingeniería de edificios porque interrumpen no solo el plano, sino también todo el proceso de construcción de estructuras. Cabe destacar que la respuesta arquitectónica de un edificio a un terremoto y el grado de daño a sus elementos estructurales y no estructurales se determina por muchos factores. Tales factores incluyen el carácter del evento, la geometría del terremoto, así como la respuesta de todo el sistema estructural.

Dentro del contexto ecuatoriano, se señala que la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) 2015 estableció pautas básicas para la formulación de diseños antisísmicos. El objetivo de estas pautas es limitar la destrucción tanto de componentes estructurales como no estructurales en caso de terremotos de baja intensidad, modificar daños en caso de terremotos moderados y, en condiciones extremas, terremotos severos, prevenir el colapso estructural total. No obstante, Toapanta enfatiza que el cumplimiento de dicha normativa no destructiva no es una garantía contra alguna forma de destrucción durante un evento sísmico importante. (MIDUVI, 2023)

El estudio sugiere que las brechas dentro de los componentes estructurales y las irregularidades en la apariencia estructural, así como la ductilidad, o su falta, incrementan las posibilidades de daños severos, o incluso la destrucción de edificios, en caso de que un terremoto golpee la región. Este problema es extremadamente alarmante para los ecuatorianos, donde una cantidad considerable de construcciones informales no alcanzan el nivel requerido de resistencia sísmica, lo que las hace más vulnerables.

En resumen, Toapanta utiliza la frase “elaborar una estrategia” y nos recuerda que cumplir con las disposiciones es, de hecho, un aspecto importante, pero entender los problemas prácticos en relación a las construcciones existentes es lo que él considera vital para desarrollar estrategias efectivas que enfrenten los terremotos y protejan a las poblaciones en riesgo.

Morocho (2022), se realizó una evaluación de vulnerabilidad sísmica para un bloque de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala, utilizando un análisis dinámico lineal dentro del límite elástico y el método de Historia de Tiempo, donde el bloque de aulas fue sacudido por un conjunto de acelerogramas sintéticos correspondientes al terremoto registrado en Pedernales en 2016. El objetivo principal de la presente investigación fue determinar el comportamiento elástico del bloque de aulas sometido a excitaciones sísmicas realistas, mediante simulación numérica utilizando el método de historia de tiempo dinámico lineal. Se aplicó el método de análisis de historia de tiempo, que procesa los resultados realizados a través del algoritmo de Newark utilizando los modelos matemáticos de ETABS y MATLAB. El estudio del comportamiento elástico de los edificios se realizó para evaluar y modelar el nivel de daño que podría causar un terremoto de intensidad media con una duración de 2 segundos. Los resultados muestran que a 20.08 y 25.84 segundos respectivamente, los pórticos 1 y 2 tuvieron desplazamientos máximos de 3 y 5 centímetros, lo cual es seguro para el edificio y sus ocupantes en caso de un terremoto de intensidad media.

2.1.1 Introducción a los sistemas sísmicos

Los terremotos representan un gran desafío para la ingeniería de edificación, afectando el diseño y la construcción de edificios. La respuesta dinámica de la estructura y el daño potencial a la estructura y a los componentes no estructurales dependen no sólo de la naturaleza del terremoto, sino también de la forma y el comportamiento del sistema estructural general. La práctica es particularmente importante, ya que hay muchas construcciones informales que no cumplen con los estándares de resistencia a los terremotos, aumentando así su vulnerabilidad sísmica (Balseca, 2022).

En el contexto ecuatoriano, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) de 2015 establece principios clave para el diseño sismo-resistente: prevenir daños en elementos estructurales y no estructurales durante terremotos frecuentes de baja magnitud, controlar daños ante sismos moderados y evitar el colapso estructural frente a sismos severos. No obstante, la correcta aplicación de estas normativas no garantiza la ausencia de daños en un evento sísmico de gran magnitud. Las fallas en elementos estructurales, la falta de ductilidad, y la presencia de irregularidades en la configuración estructural son factores que aumentan la probabilidad de daños graves o colapso en una edificación durante un terremoto. Esto subraya la importancia de una adecuada planificación y ejecución de diseños estructurales que minimicen estos riesgos. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016).

2.1.2 Configuración Estructural

La configuración estructural de una edificación, definida por la disposición de los elementos estructurales tanto en planta como en elevación, juega un papel crucial en su comportamiento sísmico (Ipiales, 2024). Las estructuras con configuraciones complejas tienden a sufrir mayores daños bajo la acción de un sismo severo. Por esta razón, la configuración debe ser considerada desde las primeras etapas del diseño arquitectónico, priorizando diseños simples y regulares. Las irregularidades en planta, como longitudes excesivas, geometrías complejas, discontinuidades en el sistema de piso, ejes no paralelos y problemas de torsión, son aspectos que incrementan significativamente la vulnerabilidad sísmica de una edificación (Quezada et al, 2024).

La NEC recomienda configuraciones regulares y simétricas, preferiblemente con formas rectangulares o cuadrangulares, para minimizar la concentración de esfuerzos y evitar daños desproporcionados (Barba, 2024). La implementación de juntas de construcción es una solución eficaz para mitigar los problemas asociados con longitudes excesivas en planta, permitiendo que cada segmento de la estructura actúe de manera independiente durante un sismo. Además, las geometrías irregulares en planta, como las formas en U, L o T, concentran esfuerzos en ciertos puntos, lo que aumenta el riesgo de daño

estructural. Para manejar este riesgo, la NEC sugiere la incorporación de juntas de construcción en los ángulos críticos.

2.1.3 Problemas Comunes en Configuraciones Estructurales

Entre los problemas más comunes derivados de configuraciones estructurales deficientes se encuentran las discontinuidades en el sistema de piso, ejes estructurales no paralelos y la torsión excesiva. Estos factores provocan diferencias en la rigidez y resistencia entre diferentes partes de la estructura, lo que a su vez genera comportamientos dinámicos indeseables durante un sismo. La torsión, que se produce cuando el centro de rigidez no coincide con el centro de masa de la edificación, es un problema particularmente grave que puede llevar al colapso parcial o total de la estructura. La NEC establece criterios claros para evitar estas irregularidades, enfatizando la importancia de un diseño que logre un balance adecuado entre rigidez, masa y resistencia.

La evaluación sísmica y la rehabilitación de estructuras requieren una comprensión profunda de los principios de diseño sismo-resistente y la identificación de configuraciones estructurales óptimas. Evitar configuraciones irregulares y adherirse a las normativas establecidas puede reducir significativamente el riesgo de daños estructurales durante un sismo. Este marco teórico proporciona la base conceptual para comprender los desafíos y soluciones en la ingeniería sismo-resistente, destacando la necesidad de un enfoque meticuloso en el diseño y la construcción para salvaguardar la integridad estructural y la vida humana en áreas propensas a terremoto (Valero, 2023).

2.1.4 Riesgo Sísmico en Estructuras Mixtas

La evaluación del riesgo sísmico en estructuras mixtas, que combinan materiales como acero y concreto, es un aspecto crucial en la ingeniería sísmica. Este tipo de estructuras, debido a la combinación de acero y concreto, puede aprovechar las ventajas de ambos materiales: el acero proporciona ductilidad y resistencia a la tracción, mientras que el concreto aporta rigidez y resistencia a

la compresión. No obstante, hay varios desafíos que deben abordarse para garantizar la seguridad y estabilidad de los edificios (Valero, 2023).

2.1.4.1 Principales desafíos y factores a considerar en la evaluación del riesgo sísmico:

Interacción entre materiales

Las estructuras mixtas requieren un análisis detallado de la interacción entre el acero y el concreto. El comportamiento combinado de estos materiales puede ser no lineal, especialmente en situaciones sísmicas donde las deformaciones son más grandes.

La conexión entre el acero y el concreto debe ser adecuada para evitar deslizamientos o fallos en la interfaz, lo que podría comprometer la estabilidad estructural.

Deformabilidad y resistencia a la flexión:

El acero y el concreto tienen diferentes características de deformación bajo carga. Durante un sismo, la estructura debe ser lo suficientemente flexible para evitar daños severos, pero a la vez lo suficientemente resistente para soportar las fuerzas sísmicas.

El diseño debe asegurar que ambas partes de la estructura trabajen en conjunto sin que uno de los materiales sea sobrecargado, lo que podría llevar a fallos locales.

Análisis dinámico avanzado:

Es esencial realizar un análisis sísmico que considere la respuesta dinámica de la estructura, evaluando tanto las cargas estáticas como las cargas sísmicas. Esto incluye realizar simulaciones de comportamiento ante diferentes niveles de intensidad sísmica.

Los métodos como el análisis modal, que evalúan las vibraciones naturales de la estructura, son clave para comprender cómo se comportará la estructura bajo movimiento sísmico.

Condiciones del sitio y tipos de suelo:

Las propiedades del suelo donde se construye la estructura juegan un papel fundamental en la respuesta sísmica. Su capacidad para amplificar o atenuar las ondas sísmicas influye directamente en las cargas que experimenta la estructura.

En suelos blandos, por ejemplo, las vibraciones pueden ser más intensas, lo que hace necesario un diseño más robusto o el uso de tecnologías de aislamiento sísmico.

Factores de seguridad y normas de construcción:

Las normativas sísmicas locales y los códigos de construcción deben ser considerados al diseñar estructuras mixtas. Estas regulaciones proporcionan pautas para los materiales, las conexiones y las estrategias de refuerzo que son esenciales para asegurar la estabilidad en eventos sísmicos.

Las evaluaciones de riesgo sísmico deben integrar márgenes de seguridad adicionales debido a la incertidumbre inherente en el comportamiento de los materiales y las cargas sísmicas.

Evaluación y refuerzo de estructuras existentes:

Las estructuras mixtas más antiguas pueden haber sido construidas con normas previas a la última investigación sísmica, por lo que se requiere una evaluación más detallada de su resistencia actual. En estos casos, se pueden implementar soluciones de refuerzo para mejorar la resistencia sísmica de la estructura sin necesidad de una reconstrucción completa (Valero, 2023).

En resumen, el diseño y la evaluación del riesgo sísmico en estructuras mixtas deben considerar no solo las propiedades individuales de los materiales, sino también cómo interactúan entre sí bajo cargas sísmicas. Un enfoque

integral, que incluya el análisis dinámico, el uso de tecnologías avanzadas y el cumplimiento de las normativas de construcción, es esencial para garantizar que las estructuras sean seguras y estables frente a terremotos.

2.1.5 Métodos de Evaluación del Riesgo

La evaluación del riesgo sísmico en estructuras mixtas implica la realización de análisis estáticos y dinámicos. Los métodos de análisis lineal e incremental son comunes, permitiendo a los ingenieros predecir la respuesta de la estructura ante diferentes niveles de carga sísmica. Además, la identificación de vulnerabilidades específicas, como puntos de falla potencial en las uniones entre materiales, es crucial para una evaluación precisa (Castro, 2022).

Cuando se evalúa el riesgo sísmico para una estructura compuesta, uno de los enfoques principales involucra la realización de análisis estáticos y dinámicos. Considerados estáticos, se estima que las fuerzas sísmicas pueden ser asumidas como cargas uniformes o concentradas sobre una parte de la estructura. Esto permite al profesional realizar proyecciones de cómo una construcción podría comportarse en un sismo. No obstante, la idealizada realidad de un terremoto conlleva esfuerzos y deformaciones mucho más complejas, lo que obliga a recurrir a otras formas de análisis como los dinámicos.

Dichos análisis, por su parte, permiten observar la evolución temporal de las vibraciones y la respuesta de diferentes partes de la estructura a las fuerzas sísmicas. Este tipo de análisis es de suma importancia para estimar el comportamiento de la estructura ante un sismo, dado que la interacción espacial y temporal de los componentes estructurales –vigas de acero y losas de concreto, que seguramente hacen uso de diferentes niveles de deformación y respuesta – debe ser considerada.

El análisis lineal se considera uno de los métodos estándar y se aplica principalmente en las estructuras donde los mecanismos de deformaciones son esperados a ser pequeños y dentro los límites elásticos de los materiales. Este tipo de análisis parte de la hipótesis que los materiales son de comportamiento

lineal, es decir, la relación entre la carga y la deformación es proporcional. Aunque el análisis lineal es capaz de simular fenómenos de comportamiento moderno de terremotos de baja magnitud, no es adecuado para una estructura que experimenta deformaciones severas o eventos sísmicos más fuertes. En estas instancias, el enfoque cambia a análisis no lineales o incrementales, los cuales permiten modelar el comportamiento más realista de la estructura cuando los elementos alcanzan sus límites elásticos y sufren fallas progresivas.

El enfoque de análisis incremental de un sistema constructivo sirve para observar su comportamiento cuando es expuesto a cargas sísmicas progresivas, permitiendo analizar su desempeño a medida que se aplican niveles de fuerzas sísmicas que exceden los límites elásticos. Este método tiene la ventaja de poder localizar los posibles fallos y deficiencias que puede llegar a tener una estructura, en especial en los casos en que materiales disímiles se unen, los cuales son particularmente críticos en las estructuras de tipo mixto. Identificar tales juntas es crítico para un análisis preciso porque, en la junta entre acero y concreto, una distribución de tensiones no uniforme puede causar fracturas, deslizamientos y delaminaciones que ponen en riesgo la integridad estructural general. Menos aún, pero el análisis incremental puede detallar en muchísima mayor medida que otros métodos cómo se comporta una estructura en varias etapas previas a su colapso, y ayuda a realizar los cambios necesarios en relación con el tema de refuerzo añadido habiendo determinado cómo es mejor cambiar el diseño para que se produzca la mejora necesaria en su rendimiento sísmico.

La integración de ambos tipos de análisis, lineales e incrementales, en los procesos involucrados en la evaluación del nivel de riesgo sísmico proporciona una imagen general sobre la respuesta estructural bajo diferentes intensidades sísmicas. Sin embargo, además de los métodos de análisis, aspectos como las condiciones del sitio, el tipo de terremoto y los códigos de diseño aplicables deben ser considerados por los ingenieros. Igualmente importante para una evaluación precisa del riesgo sísmico y una planificación de mitigación efectiva es la combinación de detalles del modelo de control e identificación de posibles modos de falla en la modelación estructural (Castro, 2022).

2.1.6 Características de las Estructuras Mixtas

Las estructuras mixtas aprovechan las propiedades de diferentes materiales para optimizar el rendimiento estructural. Por ejemplo, el acero proporciona ductilidad y resistencia a tracción, mientras que el concreto ofrece compresión y rigidez. Estas características pueden influir en la respuesta dinámica de la estructura durante un evento sísmico, afectando tanto la integridad estructural como la comodidad de los ocupantes.

Las estructuras mixtas se definen como la unión del acero y el concreto de una manera que ayuda a aprovechar sus propiedades para lograr una máxima eficiencia estructural. El acero también es conocido por ser altamente dúctil, que es su capacidad de deformarse significativamente antes de romperse, permitiéndole absorber inmensas cantidades de energía durante un terremoto. Poder deformarse y seguir siendo operable bajo cargas dinámicas es extremadamente vital en regiones sísmicas donde se requiere que la estructura se mueva con el terremoto sin incurrir en daños permanentes. Además, el acero posee una alta tendencia a ser estirado, lo que lo hace adecuado para elementos que soportan tensiones de tracción, como vigas y columnas horizontales y verticales.

Por otro lado, el concreto tiene una propiedad notable de resistencia a la compresión, por lo que es un excelente material para soportar cargas verticales como el peso de la estructura o los ocupantes. De manera similar, el concreto proporciona rigidez a la estructura que le permite soportar deformaciones excesivas durante un terremoto y mantener la estabilidad global del edificio. Sin embargo, el concreto no es muy eficaz cuando se trata de soportar fuerzas de tracción, lo que puede ser problemático en áreas de alta tensión, como las uniones entre vigas y columnas. Esta es la razón por la cual se utiliza acero en estructuras compuestas para compensar esta deficiencia.

La combinación de estos dos materiales proporciona una respuesta estructural más equilibrada a las cargas sísmicas, ya que la contribución de cada material es complementaria. Mientras el acero se encarga de las cargas

dinámicas y deformaciones, el concreto ayuda a la estabilidad global y rigidez de la estructura. Esta sinergia de materiales afecta directamente la respuesta dinámica de la estructura durante un terremoto. Las vibraciones y movimientos que surgen durante un terremoto pueden ser absorbidos a diferentes niveles por el acero y el concreto, dependiendo de cómo estén dispuestos en la estructura. Esta combinación puede ser perjudicial para la integridad estructural, así como para el confort de los ocupantes del edificio. Por ejemplo, si una estructura está mal diseñada, de manera que haya un desequilibrio entre rigidez y flexibilidad, es probable que ocurran movimientos excesivos del edificio, lo que puede resultar incómodo para las personas o, peor aún, poner en peligro la seguridad de las personas dentro.

Además, las propiedades de la construcción híbrida tienen la ventaja de optimizar otros elementos, como el tiempo y los costos de construcción. El uso de concreto reforzado y miembros de acero hace que la construcción sea más simple, rápida y eficiente, reduciendo así el impacto general en el cronograma del proyecto. Por otro lado, el diseño de estructuras mixtas no es sencillo, ya que debe hacerse de tal manera que los materiales trabajen en conjunto y las uniones sean lo suficientemente fuertes para evitar debilidades que puedan poner en peligro la seguridad de la estructura durante un terremoto (NEC 2015, 2023).

2.1.7 Normativas y Estándares de Diseño

Cumpliendo con las demandas de las pautas de construcción como la Norma Ecuatoriana de Construcción, el diseño para las estructuras mixtas debe incluir medidas de protección específicas contra acciones sísmicas. Su importancia radica en cumplir con el nivel de seguridad y resistencia requerido para lograr una protección adecuada de la estructura contra posibles daños sísmicos.

Sin duda, todas estas normas y pautas de diseño son críticas para salvaguardar los edificios, particularmente en regiones propensas a terremotos. En lo que respecta a estructuras mixtas, tales normas tienen requisitos específicos que aseguran que la acción compuesta de acero y concreto sea

efectiva para resistir fuerzas sísmicas. Por ejemplo, en Ecuador, la NEC cuenta con un conjunto particular de normas que abordan en detalle los aspectos de diseño y construcción de edificios resistentes a terremotos basados en las condiciones geológicas, sísmicas y de materiales de la región. Sin embargo, es crucial contar con medidas regulatorias que permitan a los ingenieros estructurales estimar con precisión cómo las fuerzas del terremoto impactarán en la estructura y los riesgos que estarán involucrados.

La NEC define criterios particulares sobre los materiales y métodos de construcción que deben utilizarse en la construcción de edificios en áreas sísmicas. Estos criterios incluyen las propiedades del acero, del concreto y de las juntas entre ellos, para que la construcción no tenga debilidades que puedan resultar en daños a la estructura durante un terremoto. También se han considerado los diferentes tipos y la intensidad de los terremotos que son más comunes en la zona y el comportamiento esperado de la estructura, lo que les permite realizar estimaciones más precisas respecto a la capacidad del edificio para soportar diferentes grados de esfuerzos sísmicos. En consecuencia, las estructuras híbridas no solo están diseñadas para ser resistentes, sino también para funcionar de manera confiable y segura bajo condiciones sísmicas muy severas.

Además, las regulaciones como la NEC requieren métodos avanzados de análisis sísmico, como análisis dinámicos y no lineales, que son críticos para evaluar la respuesta de estructuras híbridas a actividades sísmicas. Tales evaluaciones son necesarias para identificar fallas relacionadas con el diseño o el vínculo de materiales, lo cual es extremadamente importante en estructuras híbridas debido a la interacción acero-concreto. Además, la NEC también proporciona recomendaciones sobre el diseño de refuerzos estructurales, como dispositivos de aislamiento sísmico y sistemas de disipación de energía que ayudan a controlar los efectos de las vibraciones del edificio y limitan el daño estructural durante los terremotos.

El texto analizado pone especial énfasis a considerar, dentro del establecimiento de las normas, factores que relacionen directamente a la

seguridad de los ciudadanos, tales como la accesibilidad, la resistencia de las construcciones a fuerzas horizontales, o la evacuación en una situación de emergencia. Se busca entonces que las edificaciones no solo sean resistentes y estables, sino también que brinden un mínimo de riesgo de lesiones o muertes a sus ocupantes dentro de la edificación durante un movimiento sísmico. Por ello, el cumplimiento de las normas y requisitos de la NEC resulta vital para las estructuras mixtas: que sean funcionales, pero a la vez, protegen a las personas del riesgo sísmico.

La adherencia a estas regulaciones tiene efectos no solo desde un punto de vista de seguridad provocativa, sino también desde una perspectiva de responsabilidad legal. En su mayor parte, es un requisito en algunas jurisdicciones que los proyectos de construcción de edificios cumplan con estos códigos para obtener los permisos necesarios. Además, la aplicación de estas regulaciones puede resultar en algunos beneficios económicos favorables en el futuro, como menores costos necesarios para reparaciones o reconstrucciones después de un desastre sísmico. Para resumir todo, las regulaciones de construcción como la NEC tienen como objetivos primarios la seguridad y la estabilidad de las estructuras mixtas, sirviendo como la base sobre la cual los ingenieros formulan los diseños que resistirán efectivamente las fuerzas sísmicas y preservarán tanto a las personas como la inversión a largo plazo (NEC, 2015).

2.1.8 Impacto de la Construcción Informal

Transformar el propósito del edificio requiere obras de rehabilitación avanzadas. Se acepta generalmente que los cambios en el diseño de un edificio que alteran sus usos previstos, por ejemplo, un edificio residencial que se convierte en un local de oficinas, necesitará tal trabajo de construcción extenso que constituye la demolición y construcción de un nuevo edificio. El término cambio de uso en las regulaciones de construcción significa alteración de la forma o estructura de un edificio que limita su intención de construcción primaria. Tal definición está vacía de espíritu emprendedor, ya que se ofrece una

oportunidad empresarial, y los nuevos edificios pueden captar la atención de posibles usuarios (Castro, 2022).

En el caso de que haya infraestructura antigua, se prefiere el mantenimiento o la renovación en lugar de una nueva construcción como solución más razonable. Los planificadores urbanos tienen la tarea de ajustar la infraestructura existente para apoyar flujos eficientes en un entorno en rápida evolución. Adaptarse a tales desafíos es necesario, especialmente cuando se trata de estructuras provocativas. Alterar el propósito de un edificio para que pueda atender uno completamente diferente se puede lograr a través de su extensa rehabilitación. Cuanto más proactiva sea la estrategia, menos restricciones de construcción habrá que pueden limitar nuevos usos innovadores. Así pueden permitirse la libertad de expresión con poca preocupación por los daños que las obras de construcción puedan causar a los nuevos usos de las estructuras (Castro, 2022).

Enfocarse primero en determinar si una estructura puede ser alterada a través de la ingeniería de valor, como derribar particiones, ayudará a definir el objetivo de los problemas. No considerar todos los aspectos tiene graves consecuencias. Los edificios son obras de arte consumadas y, por lo tanto, a sus habitantes se les debe dar oportunidades razonables para expresarse de la manera que consideran apropiada, lo que en ciertas circunstancias culminará en un uso completamente diferente de los usos del edificio. Cuanta más razón haya para conservar la infraestructura antigua, como por qué reemplazarla con una nueva construcción donde hay menos inclinación a usarla, resultaría en la demolición de las estructuras y más. Los urbanistas tienen túneles y líneas elevadas que ofrecen más de lo que rodean las estaciones con soluciones para resolver la congestión del tráfico. Requieren una combinación de superar restricciones de compensaciones sensibles. Tales cambios drásticos enfrentarán resistencia a menos que haya evidencia convincente de sus beneficios.

Uno de los principales problemas de la construcción informal es el no cumplimiento de normas de diseño sismo-resistente, como lo es la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Estas regulaciones deben ser cumplidas

con la finalidad de que las construcciones soporten las fuerzas sísmicas y protejan a los ocupantes. Lamentablemente, muchas construcciones informales no se logran considerando los mínimos parámetros de resistencia y estabilidad, lo que las hace especialmente susceptibles en caso de un sismo. Estas construcciones adolecen de conocimiento de técnicas elementales de construcción, planes estructurales y uso de ciertas calidades en materiales, lo que puede causar un colapso estructural durante un sismo (NEC 2015, 2023).

Igualmente, en muchos asentamientos informales, las viviendas no están sujetas a las mismas inspecciones o aseguramiento de calidad que las estructuras formales. Bastantes edificios, por ejemplo, pueden no someterse al análisis sísmico requerido, y las uniones entre los diferentes materiales que incluyen concreto y acero, pueden estar mal ejecutadas o incluso completamente ausentes. La conexión inadecuada entre diferentes elementos estructurales es probablemente el eslabón más débil de la construcción porque en caso de un terremoto, las tensiones y movimientos entre los materiales podrían resultar en grietas, deslizamientos o colapsos parciales y totales de la estructura. También hay una falta de refuerzo adecuado en las regiones críticas, es decir, las juntas y las columnas, lo que agrava aún más el problema. Esto hace que las viviendas informales estén aún más en riesgo cuando ocurre un terremoto.

Todos estos elementos deben evaluarse con la evaluación de riesgos de las estructuras híbridas de construcción informal. Al realizar una evaluación de riesgo sísmico, es necesario considerar el incumplimiento de regulaciones, la selección de materiales de construcción inapropiados y otras prácticas de construcción no conformes. Los ingenieros también deben determinar los posibles modos de fallo dentro de la estructura en puntos como las juntas de diferentes materiales, la resistencia del concreto o la falta de refuerzos, para que se puedan desarrollar medidas de mitigación. Aun así, para lograr la mejora de la construcción en asentamientos informales, se deben abordar aspectos como la educación y la concienciación dentro de la comunidad sobre el riesgo sísmico y las prácticas adecuadas de construcción.

Además, la expansión mal diseñada de los asentamientos informales urbanos y la falta de políticas de renovación urbana aumentan considerablemente el peligro sísmico presente. Numerosos asentamientos informales se construyen en sitios inapropiados, como pendientes empinadas, suelos blandos y cerca de fallas geológicas, lo que incrementa las posibilidades de deslizamientos de tierra o licuación del suelo durante un terremoto. La calidad de la construcción contribuye en gran medida a la vulnerabilidad general de estas casas; sin embargo, es la ubicación y el contexto geológico y geotécnico del área lo que determina si la construcción se puede realizar de manera segura o no.

Como tal, las consecuencias negativas de los asentamientos informales van más allá de la construcción física de los edificios, ya que también hay un impacto social y económico significativo. Como se mencionó anteriormente, la magnitud de los daños potenciales puede representar una amenaza tanto para la vida humana como para los recursos económicos. El nivel de cierta infraestructura es tan deficiente que el acceso a seguros es prácticamente imposible, y ciertamente no hay recursos disponibles que permitan reparaciones o reconstrucción. Además, la falta de regulación de planificación también contribuye a la inseguridad de tales comunidades en caso de que no haya rutas de escape o un sistema de alerta temprana adecuado.

En resumen, los asentamientos informales representan un factor de riesgo sísmico que debe tratarse de manera holística. No solo es importante mejorar las prácticas de construcción y sus regulaciones, sino también incluir estos apartamentos dentro de un sistema más amplio de desarrollo urbano que tenga en cuenta la seguridad estructural y la mitigación de daños por terremotos. Las autoridades locales, los constructores y las comunidades tienen que cooperar para mejorar las condiciones de tales viviendas, aumentando su seguridad y protegiendo la vida de las personas en zonas sísmicamente activas (Castro, 2022).

2.1.9 Estrategias de Mitigación del Riesgo

Para reducir el riesgo sísmico en estructuras mixtas, es fundamental implementar una serie de estrategias de mitigación que aborden tanto el diseño de las edificaciones como la formación de los profesionales involucrados en su construcción. Una de las principales estrategias es el uso de tecnologías avanzadas, como los sistemas de aislamiento sísmico y los amortiguadores. Los sistemas de aislamiento sísmico son dispositivos diseñados para desacoplar la estructura del movimiento del suelo durante un sismo, lo que reduce las fuerzas sísmicas transmitidas al edificio. Estos sistemas pueden instalarse en la base de la estructura, permitiendo que el edificio se mueva de manera independiente del suelo sin que se transmitan las vibraciones a la superestructura. Este enfoque no solo mejora la seguridad de la edificación, sino que también reduce los costos de reparación y mantenimiento después de un evento sísmico, ya que el edificio experimenta menos daños (NEC 2015, 2023).

Los amortiguadores, por otro lado, son dispositivos que absorben la energía generada por el sismo y disminuyen las vibraciones de la estructura. Existen varios tipos de amortiguadores, como los amortiguadores viscosos, los de fricción y los de masa sintonizada, que pueden ser incorporados en el diseño de la estructura para reducir los desplazamientos y las tensiones causadas por el movimiento sísmico. Estos dispositivos actúan como una especie de "amortiguador" que disipará parte de la energía sísmica, protegiendo las partes más críticas de la edificación, como las uniones entre el acero y el concreto, y mejorando la estabilidad general de la estructura durante un terremoto.

Sin embargo, el uso de estas tecnologías avanzadas debe ir acompañado de un diseño adecuado y del cumplimiento estricto de las normativas sismo-resistentes. El análisis estructural debe considerar las características específicas de la construcción, como su altura, el tipo de materiales empleados y las características geotécnicas del terreno, para garantizar que las soluciones tecnológicas sean las más apropiadas para cada caso. Las normativas sismo-resistentes, como las que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), proporcionan directrices que aseguran que la integración de tecnologías como los sistemas de aislamiento y los amortiguadores se realice de manera correcta y eficaz (NEC 2015, 2023).

Otra estrategia clave en la mitigación del riesgo sísmico es la capacitación y concienciación de los constructores, ingenieros, arquitectos y propietarios de viviendas sobre la importancia del diseño sismo-resistente. La educación sobre los principios básicos de la ingeniería sísmica y las mejores prácticas en construcción puede marcar una diferencia significativa en la reducción de la vulnerabilidad sísmica. A menudo, las edificaciones informales o las construcciones deficientemente diseñadas se deben a la falta de conocimiento sobre cómo las fuerzas sísmicas afectan a los edificios y cómo diseñarlos para resistirlas. Capacitar a los profesionales en técnicas de construcción adecuadas y en el uso de materiales correctos puede mejorar la calidad de las construcciones y aumentar la seguridad de las edificaciones.

Además, la concienciación de los propietarios de viviendas sobre los riesgos sísmicos y la necesidad de invertir en la seguridad de sus hogares también es crucial. A menudo, la falta de recursos o el desconocimiento de la importancia del refuerzo sísmico lleva a muchas personas a optar por soluciones más económicas, pero potencialmente peligrosas, en la construcción de sus viviendas. Fomentar la conciencia pública sobre los beneficios de realizar un diseño y una construcción sismo-resistente puede incentivar a los propietarios a realizar mejoras en sus viviendas o incluso a reforzarlas si es necesario. Las campañas de información y la promoción de incentivos para la implementación de soluciones sismo-resistentes son herramientas poderosas para reducir el riesgo sísmico de manera generalizada.

Adicionalmente, es importante que las autoridades locales implementen políticas y programas de inspección para garantizar que las nuevas construcciones y las reformas en estructuras existentes cumplan con los estándares de diseño sismo-resistente. La implementación de normas estrictas y la realización de auditorías periódicas son fundamentales para garantizar la seguridad en las edificaciones, especialmente en áreas de alto riesgo sísmico. Esto no solo previene la construcción de edificaciones vulnerables, sino que también contribuye a crear una cultura de seguridad sísmica en la comunidad (NEC 2015, 2023).

En resumen, la mitigación del riesgo sísmico en estructuras mixtas requiere una combinación de tecnologías avanzadas, como el aislamiento sísmico y los amortiguadores, junto con un enfoque integral que incluya capacitación, concienciación y cumplimiento normativo. Al mejorar el diseño, la construcción y el conocimiento sobre los riesgos sísmicos, es posible reducir significativamente los daños durante un evento sísmico, protegiendo tanto a los ocupantes como a las infraestructuras

2.2 Marco Legal

2.2.1 Normas Ecuatorianas De La Construcción

- **NEC-SE-CG:** Cargas (no sísmicas)
- **NEC-SE-DS:** Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente
- **NEC-SE-RE:** Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras
- **NEC-SE-GM:** Geotecnia y Diseño de Cimentaciones
- **NEC-SE-HM:** Estructuras de Hormigón Armado
- **NEC-SE-AC:** Estructuras de Acero
- **NEC-SE-MP:** Estructuras de Mampostería Estructural
- **NEC-SE-MD:** Estructuras de Madera
- **NEC-SE-VIVIENDA:** Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m

2.2.2 Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-RE de las NECs

ASCE 31-2003: Proporciona directrices para la evaluación sísmica de edificaciones existentes, evaluando su capacidad para resistir sismos y determinando si requieren mejoras.

ASCE 41-2006: Se enfoca en la rehabilitación sísmica de edificaciones existentes, ofreciendo métodos para mejorar la resistencia estructural ante terremotos.

FEMA 154: Describe un método rápido de inspección visual para identificar posibles peligros sísmicos en edificaciones, permitiendo priorizar evaluaciones más detalladas.

FEMA 274 (1997): Ofrece un comentario sobre las guías del NEHRP para la rehabilitación sísmica, proporcionando un contexto técnico y recomendaciones prácticas.

FEMA 356 (2000): Presenta un estándar preliminar con comentarios sobre la rehabilitación sísmica, sirviendo de base para la norma ASCE 41.

FEMA 440 (2005): Propone mejoras en los procedimientos de análisis sísmico no lineal, refinando técnicas para evaluar el comportamiento estructural ante sismos.

2.2.3 Otros Antecedentes

2.2.3.1 Vulnerabilidad Sísmica De Viviendas Unifamiliares Existentes De Una Zona Urbano– Residencial En Anconcito, Ecuador.

El texto resalta la falta de planificación en Ecuador, lo que lleva a la construcción de viviendas en zonas de alta peligrosidad sísmica, especialmente en la costa. Utilizando la NEC-2015, se estudió la vulnerabilidad sísmica en Anconcito, donde muchas viviendas son antiguas y estructuralmente deficientes. La metodología FEMA-P154 se empleó para evaluar visualmente estas viviendas, determinando un índice de vulnerabilidad. La zona es clasificada como de muy alta amenaza sísmica, destacando la necesidad de mejoras en planificación y construcción para reducir riesgos.

2.2.3.2 Guía práctica para el diseño de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda GUÍA DE DISEÑO 4 estructuras de madera

El texto detalla el diseño sísmico de una casa de madera en Quito, siguiendo las normas NEC-SE-DS y NEC-SE-CG. La estructura, de dos pisos con una cubierta a cuatro aguas, se construirá con madera tipo "Colorada" y una cimentación de losa corrida de hormigón. El diseño considera cargas verticales y laterales, con análisis de compresión, tracción, corte y flexión, utilizando la madera como material homogéneo y elástico. También se incluyen combinaciones de carga para esfuerzos admisibles, basadas en la NEC-SE-CG y ASCE7-10, que consideran cargas muertas, vivas y sísmicas.

2.2.3.3 Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015

El texto destaca la importancia del diseño y la construcción sísmica para reducir los daños durante un terremoto. Las estructuras deben ser diseñadas considerando la complejidad y la configuración estructural, ya que diseños más complejos pueden amplificar el daño sísmico. Las edificaciones informales, sin diseño profesional, son más vulnerables. La NEC 2015 establece principios para prevenir daños en terremotos pequeños y graves, buscando evitar colapsos en sismos severos. Se enfatiza la necesidad de configuraciones estructurales simples y regulares, y se recomienda usar juntas de construcción para edificaciones largas o en terrenos con pendientes para mejorar el comportamiento estructural.

2.2.3.4 “Diseño sismorresistente de una estructura mixta de 4 niveles, con interacción suelo estructura y diagonales rigidizadoras, para uso administrativo, enfocado a un suelo con características tipo E”

El tema de investigación aborda el diseño sismorresistente de una estructura mixta de 4 niveles con interacción suelo-estructura y diagonales rigidizadores para suelo tipo E. Se enfatiza la importancia de considerar la interacción suelo-estructura y el uso de diagonales para mejorar la respuesta sísmica, especialmente en el contexto de construcciones en áreas de alta

sismicidad como Ecuador. La investigación busca innovar en técnicas de diseño estructural para optimizar la resistencia sísmica y reducir daños.

2.2.3.5 NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC NEC-SE-DS CARGAS SÍSMICAS DISEÑO SISMO RESISTENTE

Este capítulo establece directrices y definiciones para el diseño sísmico de edificaciones y otras estructuras en Ecuador, con actualizaciones periódicas basadas en el potencial sísmico del país. Incluye metodologías y normas extranjeras reconocidas para calcular y diseñar estructuras resistentes a sismos. También detalla unidades y simbología para el análisis sísmico, incluyendo aceleraciones, áreas, fuerzas, y resistencias.

2.2.3.6 Diseño sismo resistente, con instalaciones de servicios básicos, de una edificación de dos plantas en el Suburbio Oeste de Guayaquil

En este texto se detalla la resistencia de instalaciones de servicios básicos de edificaciones bajo los antecedentes de que en Ecuador se encuentra en una región de alta actividad sísmica debido a la convergencia de las placas tectónicas Nazca y Sudamérica, lo que hace vital el diseño sismo resistente de edificaciones y la planificación de emergencias. En Guayaquil, la Iglesia Evangélica Alianza Peniel, que ha visto un notable aumento en su número de asistentes, está construyendo un nuevo edificio para atender mejor a sus feligreses. Este nuevo proyecto se desarrollará en un terreno con suelos complejos, siguiendo las normas de la NEC 2015 para garantizar su resistencia frente a terremotos.

2.2.3.7 Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas Populares Asentadas en Cerros y en el Sur de la Ciudad de Guayaquil

El proyecto, realizado en colaboración con estudiantes de la Universidad de Colorado Boulder y miembros de FICT y FIEC de ESPOL, analizó la vulnerabilidad sísmica en los sectores de Trinitaria y Bastión Popular. Se

evaluaron 220 viviendas, estimando el daño potencial en un sismo de magnitud 8 según el "Proyecto RADIUS", que implicaría intensidades sísmicas de VII en Bastión Popular y VIII en Trinitaria. Se encontró que la falta de normativa y la construcción informal aumentan la vulnerabilidad estructural en estas áreas.

2.2.3.8 Vademécum Sobre Errores y Soluciones Durante Los Procesos Constructivos En Estructuras Mixtas

El tema aborda los errores comunes en la construcción de estructuras mixtas de acero y hormigón, destacando la importancia de seguir normas como la NEC y la AWS para evitar fallos. En Ecuador, el trabajo informal y la falta de conocimientos técnicos en soldadura y montaje contribuyen a estos errores. La investigación busca recopilar información sobre estos errores, estandarizar las causas y proponer soluciones técnicas basadas en normativas vigentes para mejorar las prácticas constructivas.

2.2.3.9 Sismo Resistencia De Viviendas Mixtas De Una Planta, Ubicadas En Pedernales, Provincia De Manabí

Este tema aborda la evaluación de la resistencia sísmica en viviendas mixtas de una planta en Pedernales, Manabí, tras el devastador terremoto del 16 de abril de 2016. La investigación busca analizar cómo la correcta aplicación de normas de construcción antisísmica puede mejorar la seguridad y reducir daños futuros. Destaca la importancia de aplicar procedimientos adecuados y normativas para garantizar estructuras más resistentes y seguras frente a sismos.

2.2.3.10 Riesgo Sísmico En El Sector García Moreno, Guayaquil Basado En Datos Sobre La Incidencia De Movimientos Telúricos

Acerca de este tema los sismos en Ecuador se han vuelto más frecuentes y severos en las últimas décadas, causando grandes daños en infraestructuras y pérdidas humanas. Estos movimientos telúricos son resultado de la interacción

de placas tectónicas y el almacenamiento de energía en la corteza terrestre. La ubicación de Ecuador, sobre el cinturón de fuego del Pacífico, aumenta su vulnerabilidad. La investigación se centra en evaluar el riesgo sísmico en la parroquia García Moreno, Guayaquil, y en aplicar normas de construcción que mitiguen los efectos destructivos de estos eventos.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

En el marco de la presente investigación, se ha optado por un enfoque mixto, el cual integra tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo. Este enfoque es el más adecuado dado que la investigación busca evaluar el riesgo estructural de viviendas de construcción mixta en una zona específica de Guayaquil, lo que requiere una comprensión tanto de los datos numéricos sobre las características físicas de las estructuras como de las percepciones y condiciones sociales que pueden influir en el riesgo de estas construcciones.

Por un lado, el enfoque cuantitativo permitirá obtener datos específicos y medibles acerca de las características estructurales de las viviendas, como los materiales utilizados, las dimensiones de las construcciones, la antigüedad de las viviendas y otros elementos técnicos. Este tipo de información es necesaria para realizar análisis estadísticos y establecer patrones de riesgo basados en variables objetivas.

Por otro lado, el enfoque cualitativo será esencial para explorar los factores contextuales y sociales que influyen en el riesgo percibido y real de las viviendas. A través de entrevistas y observaciones, se podrá comprender cómo los residentes interpretan el riesgo de sus viviendas, qué medidas han tomado para mitigarlo, y cómo la situación económica, social y cultural del área impacta en la percepción de seguridad de las construcciones. Para Reyes (2022) la combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio permite una comprensión más profunda y completa del fenómeno en cuestión, ya que se pueden explorar tanto los factores tangibles como los intangibles que intervienen en la situación investigada.

3.2 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación será descriptivo, ya que el objetivo es proporcionar un cuadro detallado de las características estructurales de las viviendas de construcción mixta en el sector Sucre en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda en Guayaquil. El estudio se centrará en las particularidades de las viviendas seleccionadas, como el tipo de materiales empleados, las técnicas constructivas, la disposición de los elementos estructurales y las condiciones generales de la infraestructura.

Según Guamán (2021) un estudio descriptivo tiene como fin caracterizar los elementos de un fenómeno sin intervenir ni manipular las variables. En este caso, se buscará detallar las condiciones estructurales y el posible riesgo asociado, con el objetivo de proporcionar un análisis objetivo y detallado. Se obtendrán datos sobre las viviendas y sus condiciones específicas sin intentar hacer comparaciones o establecer relaciones causales entre variables, lo que hace que el enfoque descriptivo sea el más adecuado para este tipo de investigación.

3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos

Las técnicas e instrumentos para la recolección de datos serán variados para abordar tanto los aspectos cuantitativos como cualitativos de la investigación.

3.3.1 Técnica de Observación

Para obtener información sobre el estado físico de las viviendas, se llevará a cabo una observación directa. Se utilizará una Guía de Observación estructurada que permitirá registrar características clave de la construcción, como el estado de los cimientos, paredes, techos, y la distribución de los espacios (Reyes, 2022). La observación permitirá obtener datos cualitativos

sobre el deterioro de las viviendas y otros posibles factores de riesgo no evidentes en la documentación técnica.

3.3.2 Entrevistas

Se realizarán entrevistas semiestructuradas a los residentes de las viviendas seleccionadas. Estas entrevistas permitirán obtener información sobre las percepciones de profesionales acerca de la seguridad estructural de sus viviendas, las intervenciones realizadas en las construcciones y cualquier conocimiento relacionado con el riesgo de estas. Para ello, se diseñará una Guía de Entrevistas con preguntas abiertas que permitirán explorar en profundidad las experiencias de los participantes.

3.3.3 Cuestionarios

Complementariamente, se aplicarán cuestionarios con preguntas cerradas y escalas de evaluación, que servirán para recolectar datos cuantitativos sobre las condiciones de las viviendas, como los materiales de construcción, la antigüedad de la estructura, las dimensiones y otras características que puedan influir en el riesgo. Los cuestionarios permitirán obtener una medición precisa y sistemática de las variables relacionadas con la seguridad estructural.

3.3.4 Estudio de Caso

Cada vivienda seleccionada será objeto de un estudio, que incluirá la aplicación pruebas la laboratorio, cuestionarios y observaciones. Este enfoque permitirá realizar un análisis profundo de las características particulares de cada estructura, considerando tanto los datos técnicos como las percepciones y contextos sociales.

3.4 Población y muestra

La población de estudio está constituida por las viviendas de construcción mixta de uso residencial ubicadas en la intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil. Se considera que en sector existen 10 edificaciones mixtas de más de 50 años de construcción, que corresponde a la población total. Para esta investigación, se seleccionará una muestra de conveniencia compuesta por 2 viviendas, que serán analizadas en detalle para evaluar el riesgo estructural.

El muestreo de conveniencia se justifica en este estudio debido a la limitada cantidad de viviendas disponibles para análisis en el área seleccionada, así como a las restricciones logísticas de tiempo y recursos. Este tipo de muestreo, aunque no probabilístico, permite acceder a casos específicos que pueden proporcionar información valiosa sobre el objeto de estudio (Piedra, 2021).

Además, se utilizará muestreo de los participantes voluntarios en las entrevistas, es decir, los residentes que estén dispuestos a participar en el estudio. De acuerdo con Pereira (2021) este enfoque garantiza que los datos recolectados provengan de personas dispuestas a compartir su experiencia, lo cual puede enriquecer la comprensión de la investigación desde una perspectiva más subjetiva.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS

4.1 Presentación de Análisis de Resultados

Para la elaboración de la prueba de resistencia a la compresión de concreto, se tomaron varias muestras de concreto con la mezcla recomendada en la actualidad y varias muestras tomadas de los inmuebles objeto de estudio.

El quipo utilizado para esta prueba es una máquina de compresión axial, con pantalla digital, marca FONEY. La prueba se realizó en el laboratorio de la de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

La prueba requirió probetas de concreto elaboradas con mezclas actuales de concreto, tomadas en varios días de secado a partir de su vaciado. Para las pruebas de concreto de los inmuebles, se utilizó muestras de concreto tomadas de las edificaciones.

Adicionalmente, fue necesario el uso de Equipos de Seguridad Personal (EPP) que consiste en gafas, casco, guantes, botas con punta de acero, mandil y jean para evitar daños personales por los posibles impactos cuando el concreto se proyecta como consecuencia de una ruptura.

Prueba de resistencia al concreto de edificación de construcción mixta

La norma que utilicé para realizar la comparación es el NEC-SE-RE-FEMA 154, que regula el diseño de estructuras de concreto. Esta norma establece los requisitos generales para el diseño y la evaluación de las estructuras de concreto, incluyendo los requisitos para la resistencia a la compresión del concreto. En el NEC-SE-RE-FEMA 154 la resistencia característica del concreto se define como aquella que es superada por el 95% de los ensayos realizados. Por ejemplo, para concreto de clase C25/30, la resistencia característica es de 25 MPa para el concreto de clase 25, y de 30 MPa para el concreto de clase 30.

El NEC-SE-RE-FEMA 154 también establece que la resistencia de diseño del concreto se obtiene ajustando la resistencia característica con un factor de seguridad, que depende del tipo de carga y las condiciones de uso. Además, la norma señala que la resistencia a la compresión del concreto disminuye con el tiempo debido a diversos factores como el envejecimiento, degradación por el medio ambiente, o cargas excesivas. Por lo tanto, se recomienda realizar pruebas periódicas para asegurar la seguridad estructural, especialmente para estructuras de más de 30 años, como las que analizamos en este caso.

En la comparación, la estructura nueva cumple con la norma, ya que se espera que tenga una resistencia a la compresión de al menos 25 MPa o más, como es típico para el concreto de clase C25/30. La estructura mixta de 50 años podría aún cumplir en algunos casos, pero es posible que la resistencia esté por debajo de los 25 MPa, indicando que la estructura podría haber experimentado una pérdida de resistencia con el tiempo debido al envejecimiento. Por último, la estructura de 60 años probablemente no cumple con la resistencia mínima de 25 MPa debido a la degradación natural del concreto, lo cual es consistente con las recomendaciones del NEC-SE-RE-FEMA 154 para estructuras viejas.

Esta norma establece que el concreto pierde resistencia con el tiempo debido a factores ambientales y de carga, por lo que es crucial realizar pruebas de compresión periódicas para garantizar la seguridad estructural, especialmente en estructuras de más de 30 años.

Pruebas de Resistencia a la Compresión de Concreto

Tabla 1 Estructura nueva
Prueba 1: Estructura de Concreto

Cilindro	Carga máxima (kN)	Área base (cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)	Compresión	Cumple con la Norma (f'c ≥ 25 MPa)
1,00	750,00	176.71	31.7	1.27	Sí
2,00	760,00	176.71	32.1	1.28	Sí
3,00	740,00	176.71	31.3	1.25	Sí
4,00	755,00	176.71	31.6	1.26	Sí
5,00	730,00	176.71	30.8	1.23	Sí
6,00	745,00	176.71	31.2	1.25	Sí
Promedio	747.5	176.71	31.5	1.25	Sí

Elaborado por Zambrano (2025)

Muestra de Edificación. Estructura Mixta: Concreto.

Tabla 2 Muestra de Edificación
Prueba 2:

Testigo	Carga máxima (kN)	Área base (cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)	Compresión	Cumple con la Norma (f'c ≥ 25 MPa)
1,00	620,00	176.71	25.8	1.03	Sí
2,00	605,00	176.71	25.4	1.02	Sí
3,00	590,00	176.71	24.9	0.996	No
4,00	595,00	176.71	25.2	1.01	Sí
5,00	580,00	176.71	24.7	0.99	No
6,00	570,00	176.71	23.9	0.96	No
Promedio	595,00	176.71	25.0	1.00	No

Elaborado por Zambrano (2025)

Concreto con formulación actual

Tabla 3 Concreto con formulación actual
Prueba 3: Estructura de Construcción mixta # 2: Concreto.

Testigo	Carga máxima (kN)	Área base (cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)	Compresión	Cumple con la Norma (f'c ≥ 25 MPa)
1,00	565,00	176.71	23.9	0.96	No
2,00	550,00	176.71	23.2	0.93	No
3,00	540,00	176.71	22.9	0.92	No
4,00	530,00	176.71	22.7	0.91	No
5,00	525,00	176.71	22.4	0.90	No
6,00	515,00	176.71	22.1	0.88	No
Promedio	540,00	176.71	22.8	0.91	No

Elaborado por Zambrano (2025)

Comparación entre muestras

Tabla 4 Comparación entre muestras

Estructura	Promedio Resistencia (MPa)	Compresión	Cumple con la Norma (f'c ≥ 25 MPa)
Estructura de Concreto	31.5	1.25	Sí
Estructura Mixta # 1	25.0	1.00	No
Estructura de Concreto # 2	22.8	0.91	No

Elaborado por Zambrano (2025)

De acuerdo con las pruebas de laboratorio realizadas se evidencia que las estructuras de construcción mixta no cumplen los parámetros establecidos en la norma NEC-SE-RE-FEMA 154. El resultado para la prueba realizada a la estructura nueva, si cumple con los requisitos de esta norma internacional. Por lo cual puede concluirse que es recomendable demolerlas y edificar otras nuevas.

4.2 Entrevista a expertos

Tabla 5 Entrevista a Ingenieros Civiles

Pregunta	Ingeniero 1	Ingeniero 2	Ingeniero 3	Ingeniero 4	Ingeniero 5
<p>1. ¿Cómo compararía la resistencia del concreto en construcciones mixtas (concreto) con el concreto utilizado en las construcciones modernas convencionales?</p>	<p>El concreto moderno ofrece una resistencia superior y más confiable que las construcciones mixtas, ya que está diseñado específicamente para soportar cargas mayores y durar más tiempo.</p>	<p>La resistencia del concreto moderno es claramente más alta. Las construcciones mixtas, aunque sostenibles, no ofrecen la misma durabilidad y seguridad que el concreto en estructuras pesadas.</p>	<p>El concreto utilizado en construcciones modernas es mucho más predecible y seguro, mientras que las construcciones mixtas presentan riesgos debido a la variabilidad del material.</p>	<p>El concreto moderno tiene características superiores en términos de resistencia a cargas extremas y durabilidad. Las construcciones mixtas pueden ser menos seguras debido a la limitación de la madera como material estructural.</p>	<p>Aunque la madera es renovable, el concreto moderno es mucho más fiable y seguro para construcciones que requieren alta resistencia y durabilidad.</p>

<p>2. ¿Es seguro usar madera como un material estructural en combinación con concreto en la construcción de viviendas y edificios?</p>	<p>La madera puede ser segura en ciertas condiciones, pero el concreto es sin duda más seguro y confiable. Las construcciones de concreto cumplen con normativas más estrictas y están mejor preparadas para resistir cargas.</p>	<p>Aunque la madera se utiliza con éxito en algunas construcciones, no puede compararse con el concreto en términos de seguridad. El concreto moderno es más fiable para proyectos de gran envergadura.</p>	<p>La madera, si bien resistente, no ofrece la misma garantía de seguridad que el concreto, especialmente cuando se somete a tensiones o condiciones adversas.</p>	<p>Si bien la guadua puede ser útil en ciertas aplicaciones, las construcciones de concreto son considerablemente más seguras y duraderas, lo que las hace la opción preferible para estructuras de mayor escala.</p>	<p>La madera puede ser adecuada en algunos proyectos pequeños, pero para edificios de mayor tamaño, el concreto es mucho más seguro y cumple con todos los requisitos estructurales.</p>
<p>3. ¿Cuáles son los mayores desafíos al utilizar madera en la construcción mixta con concreto?</p>	<p>Uno de los mayores desafíos es la durabilidad de la madera, ya que es susceptible a la descomposición y a plagas, lo</p>	<p>La principal dificultad es la vulnerabilidad de la guadua a factores ambientales como la humedad, que puede comprometer la</p>	<p>La madera requiere un tratamiento adecuado para evitar su deterioro, pero incluso con tratamiento</p>	<p>La guadua puede ser susceptible a plagas y la humedad, lo que afecta la seguridad estructural a largo plazo. El concreto, por otro lado, ofrece mayor resistencia y</p>	<p>Las construcciones mixtas con madera pueden ser menos fiables debido a la variabilidad de las propiedades del</p>

	que hace que las construcciones mixtas sean menos seguras y duraderas que las de concreto.	seguridad de la estructura. El concreto no tiene estos problemas, lo que lo hace una opción más segura.	o, sigue siendo menos segura que el concreto, que tiene una mayor resistencia a factores externos.	durabilidad sin estos inconvenientes.	material. El concreto es mucho más consistente y seguro en términos de rendimiento estructural.
4. En términos de sostenibilidad, ¿cree usted que las construcciones mixtas (madera y concreto) son una alternativa viable frente a las construcciones modernas de concreto?	Aunque las construcciones mixtas son más sostenibles debido al uso de un material renovable como la madera, la seguridad y durabilidad del concreto moderno lo hacen la opción preferida.	Las construcciones mixtas son sostenibles, pero no son tan recomendables en términos de seguridad estructural. El concreto es una opción más segura y eficiente en términos de durabilidad	La sostenibilidad es importante, pero la seguridad y fiabilidad del concreto moderno superan a las construcciones mixtas. Las construcciones de concreto ofrecen una mayor protección	Aunque las construcciones mixtas pueden ser ecológicas, las de concreto son más viables desde una perspectiva de seguridad estructural y durabilidad.	La sostenibilidad es un factor positivo en las construcciones mixtas, pero la seguridad y estabilidad a largo plazo del concreto lo hacen más adecuado para la mayoría de las

		<i>y resistencia.</i>	<i>a largo plazo.</i>		<i>edificaciones.</i>
5. ¿Recomendaría demoler una construcción mixta con madera y concreto si presenta fallas estructurales? ¿O es mejor rehabilitarla?	<i>Definitivamente recomendaría demoler las construcciones mixtas con fallas estructurales. La seguridad es primordial, y las construcciones mixtas no son tan seguras como las de concreto. Reemplazar las por edificaciones de concreto es la opción más segura.</i>	<i>Las construcciones mixtas no son tan confiables como las modernas de concreto. Si presentan fallas estructurales, lo más recomendable es demoler y construir nuevas edificaciones con concreto.</i>	<i>Si las construcciones mixtas presentan fallas estructurales, es más seguro demoler y construir nuevas edificaciones de concreto. Las construcciones de concreto son más seguras y estables.</i>	<i>Las construcciones mixtas pueden no ser suficientemente fuertes o seguras si presentan fallas. Demoler y construir con concreto es la mejor opción para garantizar la seguridad.</i>	<i>La madera no ofrece la misma fiabilidad que el concreto, por lo que, si hay fallas estructurales, demoler y construir nuevas edificaciones con concreto es lo más recomendable.</i>

Elaborado por Zambrano (2025)

Análisis de las Entrevistas a Expertos

Comparación de la resistencia y durabilidad

Todos los ingenieros coincidieron en que el concreto moderno es superior en términos de resistencia, durabilidad y fiabilidad en comparación con las construcciones mixtas. La resistencia de la madera, aunque adecuada en ciertas aplicaciones, no es comparable con el concreto en situaciones que requieren alta carga o exposición a factores ambientales adversos.

El concreto moderno es diseñado y probado para resistir condiciones extremas, mientras que la madera, aunque renovable y ecológica, presenta limitaciones como susceptibilidad a plagas y descomposición, que pueden comprometer la integridad estructural con el tiempo.

Seguridad estructural

Todos los ingenieros estuvieron de acuerdo en que las construcciones mixtas no son tan seguras como las de concreto. A pesar de que la madera tiene un gran potencial como material renovable y sostenible, no ofrece el mismo nivel de confiabilidad y estabilidad bajo condiciones de estrés y carga que el concreto moderno. La falta de control sobre los materiales naturales como la guadua (por ejemplo, variaciones en la calidad y las propiedades de la caña) también es un factor que contribuye a esta falta de seguridad.

Sostenibilidad

A pesar de que las construcciones mixtas tienen un beneficio en términos de sostenibilidad, gracias a la madera, la mayoría de los ingenieros indicaron que este aspecto no es suficiente para que las construcciones mixtas sean una opción viable en proyectos a gran escala, especialmente cuando se comparan con las últimas innovaciones en construcción con concreto.

Los ingenieros destacaron que, aunque la guadua es renovable y más ecológica, los beneficios de la sostenibilidad no compensan los riesgos de seguridad, especialmente en edificaciones de uso intensivo o a largo plazo.

Recomendación sobre la demolición o rehabilitación de construcciones mixtas

La mayoría de los ingenieros coincidieron en que, si las construcciones mixtas con madera presentan fallas estructurales significativas, lo más recomendable sería demoler y reconstruir utilizando concreto. Aunque algunas opiniones mencionaron la posibilidad de rehabilitar, en la mayoría de los casos, las fallas estructurales en construcciones mixtas pueden ser más costosas de reparar y, a largo plazo, menos seguras que optar por la demolición y la construcción de nuevas edificaciones con concreto moderno.

Los ingenieros sugirieron que las construcciones mixtas no incorporan las últimas innovaciones en términos de materiales y técnicas de construcción, lo que las hace menos adaptables a las exigencias de seguridad y eficiencia actuales.

Superioridad del concreto

La construcción de concreto sigue siendo la opción preferida en términos de resistencia, durabilidad y seguridad. Si bien las construcciones mixtas con madera ofrecen algunos beneficios sostenibles, no pueden competir con las capacidades estructurales del concreto moderno, especialmente en proyectos que requieren alta resistencia o en condiciones ambientales extremas.

Riesgos de las construcciones mixtas

Las construcciones mixtas, debido a la naturaleza variable de la madera y su sensibilidad a factores ambientales como humedad y plagas, son consideradas menos seguras que las de concreto. Los ingenieros advierten que, en situaciones donde las construcciones mixtas presentan fallas, la opción más segura es la demolición y la construcción de nuevas estructuras de concreto.

Rehabilitación vs demolición

Aunque la rehabilitación de construcciones mixtas es posible en algunos casos, los ingenieros coincidieron en que esta opción no es recomendable cuando las estructuras tienen fallas graves. El costo y los riesgos asociados con la rehabilitación de construcciones mixtas no justifican su mantenimiento, ya que la seguridad y fiabilidad de la estructura no se pueden garantizar de la misma manera que con el concreto.

Tabla 6 Detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154										Baja sismicidad										
10	FOTOGRAFIA DEL INMUEBLE				10	DATOS EDIFICACIÓN														
										102	Nombre de la Edificación:	CASA COMUNAL ESQUIENRA COLOR AMARILLO (PARCIALMENTE QUEMADO)								
										103	Dirección:	2415 AVENIDA 5 SO - DR JOSE MASCOTE Y BRASIL								
										104	Sitio de referencia:	ATRÁS DE CLINICA FIALLOS	105	Código Postal	90309					
										106	Tipo de uso:	RESIDENCIAL * COMERCIAL								
										107	Latitud:	2,20076178S			108	Longitud:	79,8 9649 655 W			
										107A	Zona:	S - O	10	Norte:	7B	108A	Este:			
										109	Ss:				110	S1:				
										111	DATOS DEL PROFESIONAL									
										112	Nombre del evaluador:	XAVIER ANTONIO ZAMBRANO SANCHEZ								
										113	Cédula del evaluador:	0955165725			115	Fecha	8-feb-25			
										114	Registro SENE SCYT				116	Hora:	5:18:29 p. m.			
										117	DATOS CONSTRUCCIÓN									
										118	Numero de Pisos:	2								
										119	Sobre el Suelo	CONC RETO			120	Bajo el Suelo	MEJORAMIENTO			
										121	Año de construcción:	1960			122	Area de Construcción	140 m²			
123	Código Año:	1960			124	Año(s) Remodelación:	N/A													
124	Adiones:	Ninguna	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	125	Número de Predio	N/A												
126	Clave Catastral	N/A																		
200	OCUPACION:																			
201	Asambleas				Comercial	<input checked="" type="checkbox"/>	Servicio de Emergencia													
202	Industria				Oficina	<input type="checkbox"/>	Educación													
203	Utilidad				Almacén	<input type="checkbox"/>	Residencial #	<input checked="" type="checkbox"/>												



203 A	Histórico		Albergue		Público								X		
204	TIPO DE SUELO:														
204 A		A		B		C		D	X	E		F	DN K		
204 B	Roca		Roca		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Si DNK,		
204 C	Dura		Débil		Denso		Duro		Blando		Pobre		A Sumir tipo D		
205	RIESGOS GEOLÓGICOS														
206	Licuefacción:				Deslizamiento:				Ruptura de Superficie:						
206 A	SI				SI				SI		X				
206 B	NO		X		NO		X		NO						
206 C	DNK				DNK				DNK						
207	Adyacencia														
	207A		1		Golpes		207B		SI		Peligro de caída del Edificio Adyacente				
208	Irregularidades:														
208 A	NO		Elevación (Tipo/severidad) _____												
208 B	SI		Planta (Tipo) PRESENTA ROMPIMIENTO EN CIMENTOS Y COLUMNAS												
209	Peligro de Caída Exteriores														
209 A	NO		Chimeneas sin soporte lateral							209 D		NO		Apéndices	
209 B	SI		Reves. Pesado o de chapa de madera pesada							209 E		NO		Parapetos	
209 C	SI		Otr os PRESENTA ALTILLO SUELO EN EL SEGUNDO PISO DE MADERA												
210	COMENTARIOS														
SE DETERMINA QUE LA ESTRUCTURA TIENE SECCIONES DONDE LA HUMEDAD TOMA LA ESTRUCTURA															

Y TIENE DIFERENTES FALLOS AL PUNTO DE VER SECCIONES DE MADERAS PODRIDAS Y OTRAS SECCIONES

DE HORMIGON DESPRENDIDOS

ESQUEMA PLANTA Y ELEVACIÓN

Dibujos o comentarios en una página aparte

TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL						
300	Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos	W1	x	309	Pórtico Hormigón Armado	C1
302	Porticos de madera Livianos múltiples unidades, multiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2	W1A		310	Pórtico H. Armado con muros de corte	C2
303	Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un area de piso mayor a 500m2	W2		311	Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo	C3
304	Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento)	S1		312	Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)	PC1
305	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2		313	Portico de H. Armado prefabricados	PC2
306	Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío	S3		314	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles	RM1
307	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón	S4		315	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rigidos	RM2
308	Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	S5		316	Edificios de Mampostería no reforzada	URM
				317	Vivienda prefabricada	MH
400	PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1					
TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL						

4 0 1	PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)	W 1	W 1A	W 2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM 1	RM2	URM	MH				
					(MRF)	(BR)	(LM)	(RC SW)	(URM ING)	(MRF)	(SW)	(URM INF)	(TU)		(FD)	(RD)						
4 0 2	PUNTAJE BÁSICO	6,2	5,9	5,7	3,8	3,9 0	4,4	4,1	4,5	3,3	4,2	3,5	3,8	3,3	3,7	3,7	3,2	4,6				
4 0 3	IRREGUL ARIDADE S																					
4 0 3 A	Irregularidad vertical Grave, VL1					- 1 . 5	- 1,5	- 1,5	- 1,4	- 1,3	- 1,6	- 1,2	-1,3	-1,3	-1,2	- 1,1	- 1,3	- 1,1	- 1,1	- 1,1	- 1,2	NA
4 0 3 B	Irregularidad vertical Moderada, VL1					- 1	- 0,9	- 0,9	- 0,9	- 0,8	-1	- 0,7	-0,7	-0,7	-0,7	- 0,6	- 0,8	- 0,6	- 0,6	- 0,6	- 0,7	NA
4 0 4 C	Irregularidad en planta, PL1					- 1 . 6	- 1,4	- 1,3	- 1,2	- 1,1	- 1,4	-1	-1,1	-1	-1	- 0,9	- 1,2	- 0,9	- 0,9	- 0,9	-1	NA
4 0 5	CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																					
4 0 5 A	Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción					NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4 0 5 B	Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 0 5 C	Post código moderno (construido a partir de 2015)					2 . 2	2,4	2,5	2	1,6	1,4	2,1	NA	2,3	2,2	NA	1,9	2,6	2,3	2,3	NA	1,8
4 0 6	SUE LO																					
4 0 6 A	Suelo Tipo A o B					0,9	1,1	1,3	1	1,2	0,8	1,3	1,4	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	0 . 9

406B	Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
406C	Suelo Tipo E (1-3Pisos)	-1,2	-1,7	-2,3	-1,2	-1,4	-1	-1,7	-2	-1,4	-2	-1,6	-1,7	-1,6	-1,7	-1,7	-1,5	-2,1	
406D	Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-1,7	-2	-2,2	-1,2	-1,4	NA	-1,7	-1,9	-1,3	-1,9	-1,6	NA	-1,6	-1,6	-1,7	-1,4	NA	
407	Puntaje Mínimo	2,7	2,1	1,5	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,4	2,5	
408	PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																		
500	GRADO DE REVISIÓN	600	OTROS RIESGOS:							700	ACCIÓN REQUERIDA:								
501	Exterior:	<input type="checkbox"/> Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Todos los Lados <input type="checkbox"/> Aereo								Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada? Requiere evaluación estructural detallada?									
502	Interior:	<input type="checkbox"/> Ninguno <input checked="" type="checkbox"/> Visible <input type="checkbox"/> Completo								701	<input checked="" type="checkbox"/>	Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio							
503	Planos revisados:	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No								702		Si, puntaje menor que el límite							
504	Fuente del Tipo de suelo:									703		Si, otros peligros presentes							
505	Fuente del Peligro Geológico:									704		NO							
506	Personas de Contacto:									¿Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x)									
										705	<input checked="" type="checkbox"/>	Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados							
										706		No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada							

Celular: _____		707	No, no se identifican peligros no estructurales
Correo: _____		708	DNK= no conoce
Cuando los datos no pueden ser verificados, el inspector deberá anotar lo siguiente: EST=Estimado o dato no fiable O DNK= No conoce			
800	OBSERVACIONES:		
		FIRMA RESPONSABLE EVALUACIÓN	
Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NEHRP report, ATC, California Modificado: Diciembre, 2021			
			SHEP-MIDUVI

Elaborado por Zambrano (2025)

Análisis

Tipología Estructural:

- La edificación utiliza **pórticos de madera livianos** para viviendas multifamiliares de uno a dos pisos (W1). Este tipo de estructura es generalmente menos resistente a fuerzas sísmicas en comparación con estructuras de hormigón armado o acero.

Puntaje Básico:

El puntaje básico para este tipo de estructura es de **6.2**. Este puntaje sirve como punto de partida para evaluar la vulnerabilidad.

Irregularidades:

- **Irregularidad vertical moderada (VL1)**: Se aplica una penalización de -1. Esto indica que la edificación presenta irregularidades en su altura, lo que puede afectar su comportamiento sísmico.
- **Irregularidad en planta (PL1)**: Se aplica una penalización de -1.6. Esto sugiere que la edificación tiene una distribución de planta irregular, lo que también puede aumentar su vulnerabilidad.

Código de Construcción:

- Se asume que la edificación fue construida después de 2015 (**post código moderno**), lo que añade un puntaje de 2.2. Esto implica que la edificación se construyó siguiendo normativas sísmicas más recientes, lo que mejora su resistencia.

Suelo:

- Se considera **suelo tipo A o B**, lo que añade un puntaje de 0.9. Este tipo de suelo es generalmente más favorable para la resistencia sísmica.

Puntaje Mínimo:

- El puntaje mínimo permitido es de 2.7. Esto asegura que la edificación tenga un nivel mínimo de resistencia sísmica.

Puntaje Final:

- El puntaje final se calcula sumando el puntaje básico y los modificadores. En este caso, es de $6.2 - 1 - 1.6 + 2.2 + 0.9 = 6.7$.

Grado de Revisión:

- Se indica que la revisión exterior fue parcial y la interior visible. Se recomienda una revisión completa para una evaluación más precisa.

Otros Riesgos:

Se menciona un posible riesgo de **golpeo potencial** y **riesgo de caída de edificios adyacentes más altos**. Estos factores pueden aumentar la vulnerabilidad de la edificación.

Acción Requerida:

- Se indica que **no se requiere una evaluación estructural detallada** (704). Sin embargo, se señalan otros peligros presentes (703) y se recomienda una evaluación no estructural detallada (705).

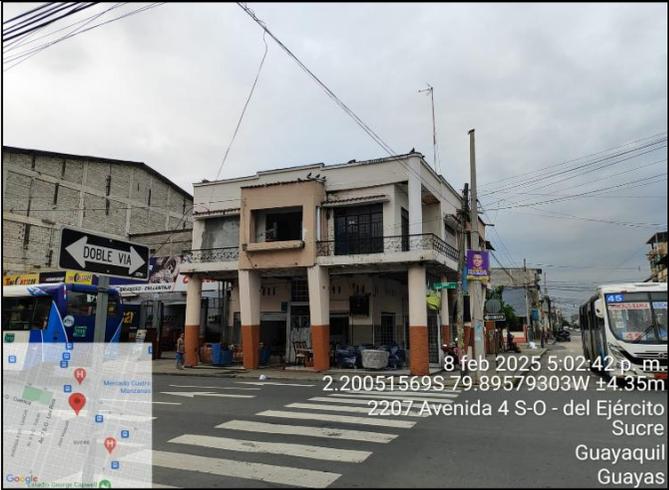
A pesar de tener un puntaje final de 6.7, que supera el puntaje mínimo, la edificación presenta algunas vulnerabilidades debido a las irregularidades y los riesgos adicionales. Se recomienda realizar una **revisión completa** y abordar los riesgos identificados para mejorar la seguridad sísmica.

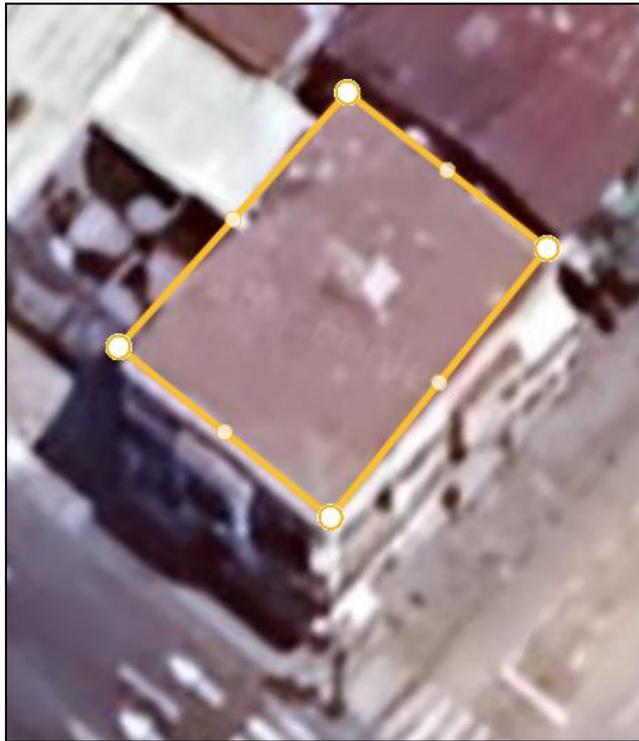
Es importante recordar que esta evaluación se basa en una revisión visual y la información proporcionada.

Tabla 7 Análisis casa 1.

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154

Baja sismicidad

100	FOTOGRAFIA DEL INMUEBLE				101	DATOS EDIFICACIÓN								
					102	Nombre de la Edificación:		FAMILIA WILSON RONQUILLO						
					103	Dirección:		AVENIDA 4(CUENCA) S-O - DEL EJERCITO						
					104	Sitio de referencia:		ECOTIYERS LLANTA	105	Código Postal	90309			
					106	Tipo de uso:		RESIDENCIAL - COMERCIAL						
					107	Latitud:		2,20051569 S		108	Longitud:	79,89579303 W		
					107A	Zona:	S - O	107B	Norte:	108A	Este:			
					109	Ss:				110	S1:			
					111	DATOS DEL PROFESIONAL								
					112	Nombre del evaluador:		XAVIER ANTONIO ZAMBRANO SANCHEZ						
					113	Cédula del evaluador		1E+09	115	Fecha		8-feb-25		
114	Registro SENESC YT				116	Hora:		5:02:43 p. m.						
117	DATOS CONSTRUCCIÓN													
118	Numero de Pisos:		2 PISOS											
119	Sobre el Suelo		CONCRETO	120	Bajo el Suelo		MEJORA MIENTO							
121	Año de construcción:		1950		122	Area de Construcción		151,26 m²						



123	Código Año:	1950		124	Año(s) Remodelación:	N/D								
124	Adiciones:	Ninguna	X	SI	125	Número de Predio								
					126	Clave Catastral								
200	OCUPACION:													
201	Asambleas			Comercial	X	Servicio de Emergencia								
202	Industria			Oficina		Educación								
203	Utilidad			Almacén	X	Residencial #				X				
203A	Histórico			Albergue		Público				X				
204	TIPO DE SUELO:													
204A		A		B		C		D	X	E		F		DNK
204B	Roca		Roca		Suelo		Suelo		Suelo		Suelo		Si DNK,	
204C	Dura		Débil		Denso		Duro		Blando		Pobre		Asumir tipo D	
205	RIESGOS GEOLÓGICOS													
206	Licuefacción:			Deslizamiento:			Ruptura de Superficie:							
206A	SI			SI			SI		X					
206B	NO			NO			NO							
206C	DNK		X	DNK		X	DNK							
207	Adyacencia													

		207A	1	Golpes	207B	SI	Peligro de caída del Edificio Adyacente
208	Irregularidades:						
208A	NO	Elevación (Tipo/severidad)					
208B	SI	Planta (Tipo) PRESENTA DIFERENTES SECCIONES HUMEDECIDAS Y DESTRUIDAS POR LA HUMEDAD					
209	Peligro de Caída Exteriores						
209A	NO	Chimeneas sin soporte lateral	209D	NO	Apéndices		
209B	SI	Reves. Pesado o de chapa de madera pesada	209E	NO	Parapetos		
209C	SI	Otros PRESENTA ALTILLO SUELO EN EL SEGUNDO PISO DE MADERA					
210	COMENTARIOS						
<p>SE DETERMINA QUE LA ESTRUCTURA TIENE SECCIONES DONDE LA HUMEDAD TOMA LA ESTRUCTURA</p> <hr/> <p>Y TIENE DIFERENTES FALLOS AL PUNTO DE VER SECCIONES DE MADERAS PODRIDAS Y OTRAS SECCIONES</p> <hr/> <p>DE HORMIGON DESPRENDIDOS</p> <hr/>							
		Dibujos o comentarios en una página aparte					

ESQUEMA PLANTA Y ELEVACIÓN

300

TIPOLOGIA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

40 3A	Irregularidad vertical Grave, VL1	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,3	-1,6	-1,2	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,3	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	NA		
40 3B	Irregularidad vertical Moderada, VL1	-1	0,9	0,9	-0,9	0,8	-1	-0,7	0,7	-0,7	0,7	0,6	-0,8	-0,6	0,6	0,6	-0,7	NA		
40 4C	Irregularidad en planta, PL1	-1,6	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1	-1,4	-1	-1,1	-1	-1	0,9	-1,2	-0,9	0,9	0,9	-1	NA		
40 5	CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN																			
40 5A	Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA		
40 5B	Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
40 5C	Post código moderno (construido a partir de 2015)	2,2	2,4	2,5	2	1,6	1,4	2,1	NA	2,3	2,2	NA	1,9	2,6	2,3	2,3	NA	1,8		
40 6	SUELO																			
40 6A	Suelo Tipo A o B	0,9	1,1	1,3	1	1,2	0,8	1,3	1,4	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,3	0,9		
40 6B	Suelo Tipo D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
40 6C	Suelo Tipo E (1-3Pisos)	-1,2	-1,7	-2,3	-1,2	-1,4	-1	-1,7	-2	-1,4	-2	1,6	-1,7	-1,6	-1,7	-1,7	-1,5	-2,1		
40 6D	Tipo de suelo E (>3 Pisos)	-1,7	-2,2	-2,2	-1,2	-1,4	NA	-1,7	-1,9	-1,3	-1,9	1,6	NA	-1,6	-1,6	-1,7	-1,4	NA		
40 7	Puntaje Mínimo	2,7	2,1	1,5	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,4	2,5		
40 8	PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN																			
50 0	GRADO DE REVISIÓN	600						OTROS RIESGOS:						700						ACCIÓN REQUERIDA:
50 1	Exterior:																			
	<input checked="" type="checkbox"/> Parcial																			
	<input type="checkbox"/> Todos los Lados																			
	<input type="checkbox"/> Aereo																			
	Hay peligro que ameriten una evaluación estructural detallada?																			
	Requiere evaluación estructural detallada?																			
	701 <input checked="" type="checkbox"/> Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio																			

50 2	Interior:		6 0 1	SI	Golpeo Potencial (a menor que SL2>limite, si es conocido)			
		<input type="checkbox"/> Ninguno	<input checked="" type="checkbox"/> Visible	<input type="checkbox"/> Completo			70 2	<input type="checkbox"/> Si, puntaje menor que el límite
			6 0 2	NO	Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos		70 3	<input type="checkbox"/> Si, otros peligros presentes
50 3	Planos revisados:	<input type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> No				70 4	<input type="checkbox"/> NO
50 4	Fuente del Tipo de suelo:			6 0 3	SI	Riesgo geológico o tipo de Suelo F	¿Evaluación no estructural detallada recomendada? (marque con una x)	
50 5	Fuente del Peligro Geológico:						70 5	<input checked="" type="checkbox"/> Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados
50 6	Personas de Contacto:			6 0 4	SI	Daño significativo/deterioro del sistema estructural	70 6	<input type="checkbox"/> No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada
	Celular:						70 7	<input type="checkbox"/> No, no se identifican peligros no estructurales
	Correo:						70 8	<input type="checkbox"/> DNK= no conoce

Elaborado por Zambrano (2025)

Análisis

El formulario FEMA P-154, para zonas de baja sismicidad, contempla una Evaluación de Nivel 2 adicional que precisa la participación de un profesional para que realice el análisis más detallado. Esto se lleva a cabo a partir de una fotografía del inmueble que ayuda a completar la evaluación visual del mismo. La evaluación se basa en la puntuación del Nivel 1, pero se la modifica con los diferentes parámetros que se utilizan en el Nivel 2. Estos modificadores que afectan el puntaje final son divididos en un conjunto de categorías. Estas son suelo inclinado, que penaliza cambios de pendiente; firme blando, que considera aberturas en la planta baja; e irregularidades verticales y en planta, que evalúan la longitud del sistema lateral entre pisos y la distribución en planta.

También se evalúan en los edificios riesgo de golpeo con otras estructuras, e inclusión de refuerzo sísmico, y algunos rasgos específicos de tipos de edificios como C1, PC1/RM1, URM y MH. Los resultados finales, SL, se obtienen cuando se suman los cambios de la puntuación base que fue ajustada a los modificadores. Estos resultados se comparan con un mínimo, SMIN. El formulario considera también daños y deterioro y si se observan aquellos daños.

En síntesis

- La Casa 1 presenta una alta vulnerabilidad sísmica debido a su estructura de madera deteriorada, irregularidades y riesgos adyacentes.
- Se recomienda encarecidamente realizar una evaluación estructural detallada por un profesional cualificado.
- Es necesario abordar los problemas de humedad y deterioro de la madera de forma inmediata.
- Se debe de evaluar la posibilidad de un reforzamiento estructural para mejorar la resistencia sísmica del edificio.
- Se deben de tomar medidas para mitigar los riesgos adyacentes, como asegurar la estabilidad de los edificios vecinos.
- La evaluación no estructural detallada es necesaria para identificar y mitigar peligros en elementos no estructurales.

En resumen, la *Casa 1* requiere atención urgente debido a su alta vulnerabilidad sísmica. Se deben tomar medidas inmediatas para garantizar la seguridad de los ocupantes.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se cumplió con el objetivo de realizar una evaluación preliminar del riesgo de edificaciones de estructuras en construcción mixta, concreto y madera, en el sector Sucre de la ciudad de Guayaquil., Ecuador. Para esta evaluación se utilizó una prueba de resistencia a la compresión de concreto. Los resultados arrojaron que las edificaciones de construcción mixta presentaron un alto riesgo frente a otras edificaciones con estructuras de construcciones modernas, que cumple con los estándares de las normativas de diseño y construcción.

De los datos tomados en las entrevistas de evaluación a expertos, se determinó que las viviendas de construcción mixta, deben ser demolidas y reemplazadas por otras de concreto armado.

Las pruebas determinaron que la resistencia del concreto de las estructuras mixtas no cumple con los requisitos de las normas actuales nacionales e internacionales. Se realizó una prueba para cada una de las dos edificaciones ubicadas a intersección de las calles Cuenca y Esmeralda, en el suroeste de Guayaquil

Se determinó que las estructuras analizadas tienen un riesgo alto con respecto a la norma NEC-SE-RE-FEMA 154, lo que contrasta con la prueba aplicada a las muestras con materiales y mezclas modernas.

Evidenciar los resultados de los datos tomados del riesgo de las estructuras de madera y hormigón.

Los resultados de las pruebas fueron evidenciados en los estudios de laboratorio aplicado a los testigos y muestras en comparación con el grado de cumplimiento con los requisitos de la norma NEC-SE-RE-FEMA 154.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con las conclusiones de este estudio se elaboraron las siguientes recomendaciones:

Realizar pruebas de resistencia a la compresión de concreto a las edificaciones de construcción mixta de más de 60 años, que se encuentran ubicadas en la ciudad de Guayaquil para prevenir riesgos a sus habitantes.

Se recomienda demoler esta estructura y reemplazarlas con estructuras modernas, que cumplan con todos los requisitos de las normas nacionales de construcción. Para los habitantes de esos edificios constituye un riesgo intolerable el seguir habitándolas.

Realizar una campaña de concientización, dirigida a los habitantes y propietarios de estas edificaciones, acerca de los riesgos a la vida y la propiedad a que se ven expuestos. Este riesgo se extiende a las personas que transitan junto a estas casas.

Solicitar al M.I. Municipio de Guayaquil, se mantenga un programa de evaluación constante a los riesgos a la vida y daños materiales que presentan las construcciones mixtas en la ciudad.

-

Extender este estudio por medio de la aplicación de otras pruebas a estas edificaciones como los son: contenido de aire, flexión y de revenimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCE, A. S. (2003). *Seismic Evaluation of Existing Buildings*,. Virginia: Reston.
- ASCE, A. S. (2007). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. virginia: Reston.
- Balseca, C. (2022). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones educativas ecuatorianas evaluadas mediante modelos matemáticos de análisis dinámico. *Dialnet*, 7(4), 12. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8483007>
- Barba, K. (2024). Análisis de seguridad contra incendios para minimizar el riesgo en construcciones con el sistema de Steel Framing. *Revista arbitrada multidisciplinari*, 2.12. doi:<https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.996>
- Castro, C. (2022). *INGENIERÍA SÍSMICA;EDIFICIOS DE ESTRUCTURA MIXTA;SECTORES CON MAYOR RIESGO SÍSMICO;GUAYAQUIL;ECUADOR*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1112>
- Espinoza Moran, D. M. (2024). Vulnerabilidad Sísmica Del Edificio Residencial “Los Armijos” Ubicado En Cantón Pasaje – El Oro. [*Tesis Pregradp*], 76. Guayaquil: Universida Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil. Recuperado el 28 de feb de 2025, de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/7253>
- FEMA. (2000). *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. Virginia: Reston.
- FEMA. (2005). *IMPROVEMENT OF NONLINEAR STATIC SEISMIC ANALYSIS PROCEDURES*. Washington D.C.: ATC.
- FEMA, F. E. (1997). *NEHRP COMMENTARY ON THE GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. California: Chairman.
- Guamán, C. K. (2021). *El proyecto de investigación: la metodología de la investigación científica o jurídica*. *Conrado*, 17(81), 163-168.
- Hernández, J. D., & Lockhart Castro, S. A. (2011). *METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO EXISTENTE*. Santo Domingo, República Dominicana: Ciencia y Sociedad, vol. XXXVI.
- Ipiales, L. (2024). Análisis de seguridad contra incendios para minimizar el riesgo en construcciones con el sistema de Steel Framing. *Pentaciencias*, 1,15. doi:<https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.996>
- Lopez Lopez, J. A. (2022). *Sismo resistencia de viviendas mixtas de una planta, ubicadas en pedernales, provincia de Manabí*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAUERTE.

- MIDUVI. (2023). *Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Morocho et al, J. (2022). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones educativas ecuatorianas evaluadas mediante modelos matemáticos de análisis dinámico. *Polo del conocimiento*, 7(4). Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3937>
- NEC 2015. (2023). *Guía práctica para evaluación sísmica*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION.pdf>
- NEC, N. E. (2015). *RIESGO SÍSMICO, EVALUACION, REHABILITACION DE ESTRUCTURAS*. Ecuador: CAMICON, cámara de la industria y construcción.
- OBREGÓN., H. J. (2021). *Vademécum sobre errores y soluciones durante los procesos constructivos en estructuras mixtas*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE.
- PAULINA, M. B. (2022). *Riesgo sísmico en el sector garcía moreno- guayaquil basado en datos sobre la incidencia de movimientos telúricos*. GUAYAQUIL: UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE.
- Pereyra, L. C. (2021). *Diseño de Muestreo*.
- Piedra, J. A. (2021). *El muestreo y su relación con el diseño metodológico de la investigación. Manual de temas nodales de la investigación cuantitativa. Un abordaje didáctico*, 81.
- Quezada et al, L. (2024). Análisis de seguridad contra incendios para minimizar el riesgo en construcciones con el sistema de Steel Framing. *Pentaciencias*. doi:<https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.996>
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la investigación científica*. Page Publishing Inc.
- Secretaría de Gestión de Riesgos, M. d. (2016). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. En M. d. Duarte, *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015* (págs. 17-29). guayaquil - ecuador: Financiado por La Unión Europea Ayuda Humanitaria.
- Toapanta, H. (2023). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de estructuras metálicas en la parroquia Izamba zona 1, Ambato, Ecuador*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstreams/851e4c4c-d48c-4bcd-ac43-86e1bede08e0/download>

Valero, C. (2023). *Gestión del riesgo y accidentabilidad en la construcción de edificios de hormigón armado y encofrado mixto*. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6966>

ANEXOS

Anexo 1 Evidencia Fotográfica

