

República Dominicana
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL

Sembrando oro para forjar el futuro



Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales
Trabajo de Grado para Optar por el Título de Ingeniero Civil.

Título

Análisis y Diseño de Estructuras Sismorresistentes en Zonas Vulnerables.

Sustentantes:

José Osvaldo Núñez Núñez

Bryan Emmanuel Sánchez Vargas

Luis Ángel Díaz Rosario

Dilbania Mercedes Reynoso Santiago

Asesor:

Ing. Luis Manuel Núñez.

Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez

Año Académico, 2026

TÍTULO

Análisis y Diseño de Estructuras Sismorresistentes en Zonas Vulnerables.

Índice

Lista de gráficos.....	i
Hoja de evaluación	ii
Declaración de autoría	iii
Agradecimientos	iv
Dedicatoria.....	v
Resumen	vi
CAPITULO I: DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción del contexto del proyecto:	1
1.3 Diagnóstico del estado actual:	2
1.4 Objetivos del diagnostico	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Metodología.....	3
1.6 Tipo de investigación.....	3
1.7 Enfoque metodológico.....	4
1.7.1 Técnica y recolección de datos	5
1.7.2 Población y muestra	6
1.7.3 Análisis de datos	6
1.7.4 Limitación del estudio.....	6
1.8 Presentación de los resultados	7
1.8.1 Características geológicas	7
1.8.2 Vulnerabilidad estructural	9
1.9 Análisis de los resultados	14
1.10 Descripción del problema específico a solucionar con el proyecto.....	16
1.10.1 Formulación del Problema	18
1.10.2 Sistematización del problema.....	18
1.11 Análisis del problema	18
1.12 Análisis de objetivos.....	19
1.13 Justificación del Proyecto:.....	19
1.13.1 Valor teórico.....	19

1.13.2	Implicaciones prácticas	20
1.13.3	Relevancia social.....	20
1.13.4	Utilidad.....	20
1.14	Análisis de involucrados:.....	21
CAPITULO II: REVISION DE LITERATURA		22
2.1	Introducción.....	22
2.2	Antecedentes.....	22
2.2.1	Antecedentes académicos internacionales.....	25
2.2.2	Antecedentes académicos nacionales.....	29
2.3	Marco teórico:	32
2.3.1	Características geológicas.	32
2.3.2	Técnicas de exploración	33
2.3.3	Tipos de suelo predominantes.	34
2.4	Clasificación de Suelos.....	37
2.4.1	Suelos finos	38
2.4.2	Arcillas	39
2.4.3	Arcillas expansivas.....	39
2.4.4	Limos	40
2.4.5	Loess.....	40
2.5	Nivel de riesgo sísmico según estudios previos.	40
2.6	Vulnerabilidad estructural.	43
2.6.1	Presencia de grietas, fisuras o daños en las estructuras.....	44
2.6.2	Grietas verticales	45
2.6.3	Grietas horizontales	45
2.6.4	Grietas en zigzag	46
2.6.5	Cumplimiento con normas Sismorresistentes.....	46
2.6.6	Estado de cimentaciones y columnas.	47
2.6.7	Cimentaciones superficiales	47
2.6.8	Cimentaciones profundas	48
2.7	Diseño estructural	50
2.7.1	Normas del Reglamento Sísmico de República Dominicana (R-001).....	50
2.7.2	Tipos de sistema estructural planteado (pórticos, muros de corte, etc.)	52

2.7.3	Pórticos resistentes a momento	52
2.7.4	Muros de corte	52
2.7.5	Sistemas duales	52
2.7.6	Arriostramientos y sistemas mixtos	53
2.7.7	Sistemas de control sísmico	53
2.7.8	Comparación de sistemas estructurales	53
2.8	Marco conceptual:	54
2.9	Alcance y límites de la investigación	54
2.9.1	Delimitación del contenido	54
2.10	Marco contextual	55
2.10.1	Aspectos socioculturales:	56
2.10.2	Aspectos económicos:	58
2.10.3	Aspectos educativos:	58
2.11	Variables e indicadores:.....	59
CAPITULO III: PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA SELECCIONADO .		62
3.1	Descripción de la propuesta.....	62
3.2	Alcance y limite.....	62
3.2.1	Alcance.....	62
3.2.2	Limites.....	63
3.3	Objetivos.....	63
3.3.1	Objetivo general	63
3.3.2	Objetivos específicos.....	63
3.4	Plan de acción.....	64
3.5	Cronograma de implementación	64
3.6	Presupuesto estimado (solo diseño técnico)	65
3.7	Análisis de factibilidad	65
3.7.1	Factibilidad técnica	65
3.7.2	Factibilidad económica	65
3.7.3	Factibilidad legal	66
3.7.4	Factibilidad social	66
3.8	Sostenibilidad	66
CAPITULO IV: PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....		67

4.1	Modelado estructural con ETABS.....	67
4.2	Beneficios esperados	70
4.3	Conclusión de la propuesta.....	70
CAPÍTULO V: CONSIDERACIONES FINALES.....		71
5.1	¿Cuál es la importancia que tiene evaluar la vulnerabilidad sísmica en una zona vulnerable, y cómo esto influye en el diseño sismorresistente?	71
5.2	¿Qué método fue considerado para garantizar que la estructura sea sismorresistente y por qué?	71
5.3	¿Qué criterio fue considerado para garantizar que el análisis y diseño de la estructura fuera sismorresistente en una zona vulnerable?.....	72
5.4	Conclusiones.....	72
5.5	Recomendaciones	74
Referencias		76
Anexos		79

Lista de gráficos

Ilustración 1.0. Modelo trifásico – pág. 35

Ilustración 2.0. Proceso de formación de los suelos – pág. 36

Ilustración 3.0. Diferentes muestras de tipos de suelos – pág. 38

Ilustración 4.0. Fallas activas – pág. 42

Ilustración 5.0. Geometría y eventos considerados pág. 42

Ilustración 6.0. Mapa de la Provincia Sánchez Ramírez – pág. 60

Ilustración 7.0. Mapa municipio de Cotuí – pág. 61

Ilustración 8.0. Vista isométrica del edificio (3D) – pág. 68

Ilustración 9.0. Vista en planta del edificio – pág. 69

Ilustración 10.0. Vista en elevación del edificio – pág. 69

Hoja de evaluación

Análisis y Diseño de Estructuras Sismorresistentes en Zonas Vulnerables.

Sustentantes:

Bryan Emmanuel Sánchez Vargas.

Dilbania Mercedes Reynoso Santiago.

José Osvaldo Núñez Núñez.

Luis Ángel Díaz Rosario.

Asesor:

Ing. Luis Manuel Núñez.

Jurado Evaluador

Jurado Evaluador

Jurado Evaluador

Enc. de la Carrera de Ingeniería Civil

Ing. Juan Antonio Graciano Domínguez

Decano de la Facultad de Ingeniería y Recursos
Naturales

Calificación: _____

Declaración de autoría

Los conceptos plasmados en la presente tesis con el título “Análisis y Diseño de Estructuras Sismorresistentes en Zonas Vulnerables”, son responsabilidad de los sustentantes de esta. Las citas y consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

Bryan Emmanuel Sánchez Vargas.

Dilbania Mercedes Reynoso Santiago.

José Osvaldo Núñez Núñez.

Luis Ángel Díaz Rosario.

Agradecimientos

A Dios, por guiarnos y bendecirnos durante este proceso, brindándonos salud, sabiduría y fortaleza para culminar con éxito esta etapa de nuestra formación profesional.

A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), por ofrecernos la oportunidad de formarnos académicamente y por proporcionarnos los conocimientos, valores y herramientas necesarias para nuestro desarrollo como futuros ingenieros.

A las autoridades de la Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales, especialmente a Juan Graciano y Margaret Reynoso por su respaldo institucional y su compromiso con la calidad educativa, los cuales contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo.

Al presidente del senado Ricardo de los Santos Polanco, por el apoyo económico recibido a través del programa de becas, el cual fue fundamental para nuestra permanencia académica y para el desarrollo de este trabajo de fin de grado.

A nuestro asesor, Ing. Luis Manuel Núñez Hernández, por su orientación, paciencia y valiosos aportes técnicos, fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Dedicatoria

A **Dios**, por concederme salud, fortaleza y sabiduría para avanzar con fe y determinación en cada etapa de mi vida.

A mi padre, **José Núñez**, por su apoyo incondicional, sus consejos y su constante motivación para no rendirme jamás, siendo un ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y perseverancia.

A mi madre, **Francia Núñez**, por su amor infinito, su presencia constante y por ser mi mayor impulso para luchar con firmeza por mis metas y sueños.

A mi hija, por ser mi inspiración constante y el motivo más grande para luchar y superarme cada día.

A mi esposa, **Anyelis Pérez**, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de este proceso, por ser mi compañera fiel y fortaleza en los momentos más desafiantes.

A mis compañeros de grupo, **Dilbania Mercedes Reynoso Santiago, Bryan Emmanuel Sánchez Vargas y Luis Ángel Díaz Rosario**, por el trabajo en equipo, el apoyo mutuo y por compartir este camino de manera solidaria.

Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que, dentro y fuera de la universidad, contribuyeron de una u otra manera con su apoyo, palabras de aliento y conocimientos, haciendo posible la culminación de este trabajo.

José Osvaldo Núñez Núñez

Dedicatoria

A **Dios**, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de mi vida, por brindarme sabiduría, salud y perseverancia para superar los retos y permitirme alcanzar esta meta tan importante.

A mis padres, **Isidro Sánchez Domínguez** y **Wime Yannette Vargas Torres**, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante, por inculcarme valores, esfuerzo y responsabilidad, y por ser el principal motor de mis sueños.

A mi familia, especialmente a mis hermanas **Katherine Yetsebe Arias Vargas** y **Karen Betsabé Picoy Vargas**, quienes con su amor, comprensión y generosidad me sostuvieron en los momentos más desafiantes, brindándome apoyo emocional y económico, siendo el impulso necesario para no rendirme y alcanzar este sueño.

A mi primo, **Kelvin Nolazco**, cuya inspiración y motivación fueron determinantes en mi elección de la Ingeniería Civil como profesión.

A **Dylenia Silva Sánchez**, por haber sido un pilar fundamental durante este trayecto, brindándome apoyo, comprensión y ánimo en los momentos más desafiantes.

A mi mejor amiga, **Alma López**, por su amistad sincera, su compañía constante y sus palabras de aliento, que me brindaron motivación y fortaleza a lo largo de este camino.

A mis compañeros de estudio, especialmente a **Joendy Batista** y **Darling Rivas**, y a mis compañeros de grupo, **José Osvaldo Núñez Núñez**, **Luis Ángel Díaz Rosario** y **Dilbania Mercedes Reynoso Santiago**, por su apoyo, amistad y trabajo en equipo durante todo este proceso.

A mis profesores y a la **Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales**, en especial a Juan Graciano y Margaret Reynoso, por su orientación y enseñanzas en mi formación académica y profesional.

Bryan Emmanuel Sánchez Vargas

Dedicatoria

A Dios, por su guía, fortaleza y gracia, que me permitieron culminar este camino acompañado de su infinita bondad.

A mis padres, **Marcia Rosario Hernández** y **Modesto Díaz Jiménez**, por su apoyo incondicional. De manera especial a mi madre, cuyo amor, sacrificio y ejemplo de perseverancia son el cimiento de este logro.

A mi esposa, **Francina Regalado**, por su amor, comprensión y respaldo constante, y por ser mi mayor impulso para no rendirme.

A mi hija, **Franmercy Aihnoa Díaz**, mi mayor bendición e inspiración, razón de cada esfuerzo y motivación para seguir adelante.

A mis hermanos, **Mairelis, Víctor Manuel** y **Joelvis Díaz Rosario**, por su apoyo y compañía permanente.

A mis familiares y amigos, por sus palabras de aliento y apoyo sincero a lo largo de este proceso.

A mis compañeros de la UTECO, en especial a **Diego Manuel Reyes Castro**, y a mis compañeros de grupo **Dilbania Mercedes Reynoso Santiago, Bryan Emmanuel Sánchez Vargas** y **José Osvaldo Núñez Núñez**, por el compañerismo y la colaboración que hicieron este trayecto más llevadero.

A la **Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales**, en especial a **Juan Graciano, Manuel Mayobanex** y **Margaret Reynoso**, por su orientación y disposición para apoyar este trabajo.

Finalmente, a mí mismo, por la constancia, la fe y la determinación para no rendirme.

Luis Ángel Díaz Rosario

Dedicatoria

A **Dios**, por ser mi guía y fortaleza constante en cada etapa de este camino.

A mi padre, **Gilberto Reynoso**, quien desde el cielo continúa guiando mis pasos, y a mi madre, **Luciana Santiago**, por su amor incondicional, sacrificio y entrega para impulsarme a seguir adelante.

A mi familia, especialmente a mis hermanos **Gilbert Reynoso** y **Dilbert Reynoso**, por su apoyo permanente y cariño sincero.

A **Yohancel Medina**, A **Yohancel Medina**, por su respaldo incondicional, el cual fue de gran significado en esta etapa.

A mis compañeras de estudio, especialmente a **Nicol Regalado** y **Denis De la Cruz**, por su amistad sincera, por compartir cada desafío y por aliviar la carga de este camino con su apoyo, comprensión y compañía constante.

A mi compadre **Elly Alexander Guzmán**, por creer en mí y apoyar siempre mi crecimiento personal y profesional.

A mi mejor amiga, **Carmen Cepeda**, por su amistad leal, su apoyo incondicional y por hacerme sentir su hogar como el mío.

A mis compañeros de grupo, **José Osvaldo Núñez Núñez**, **Bryan Emmanuel Sánchez Vargas** y **Luis Ángel Díaz Rosario**, por convertir este trayecto en una experiencia enriquecedora y más llevadera.

A la **Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales**, en especial a **Juan Graciano** y **Margaret Reynoso**, por su paciencia, orientación y constante disposición para ayudar.

Dilbania Mercedes Reynoso Santiago

República Dominicana

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL

Sembrando oro para forjar el futuro



TÍTULO

Análisis y Diseño de Estructuras Sismorresistentes en Zonas Vulnerables.

RESUMEN

Este proyecto de investigación estuvo orientado a evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones ubicadas en zonas vulnerables del municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez, y a proponer soluciones de diseño sismorresistente conforme al Reglamento Sísmico Dominicano R-001. El estudio consideró las condiciones geológicas y constructivas propias de la zona.

La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y descriptivo, apoyada en investigación documental y de campo. La recolección de datos se realizó mediante un cuestionario aplicado a edificaciones seleccionadas, cuyos resultados permitieron identificar deficiencias estructurales relacionadas con la falta de criterios sismorresistentes y la antigüedad de las construcciones.

A partir de los resultados obtenidos, se desarrolló una propuesta de diseño y modelado estructural utilizando software especializado, con el objetivo de mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones y reducir el riesgo estructural, contribuyendo a la protección de vidas humanas.

CAPITULO I:

DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

1.1 Introducción

El capítulo I estuvo orientado al análisis de la vulnerabilidad estructural de edificaciones ubicadas en zonas urbanas del municipio de Cotuí. En este apartado se describió el contexto geológico y constructivo del área de estudio, se realizó el diagnóstico del estado actual de las edificaciones evaluadas, se formularon y analizaron los problemas identificados, se precisaron los objetivos del estudio, se expuso la metodología empleada y se presentaron los resultados obtenidos, así como la justificación técnica y social del proyecto.

1.2 Descripción del contexto del proyecto:

El municipio de Cotuí, ubicado en la provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana, se caracteriza por presentar condiciones geológicas y geotécnicas que lo hacen propenso a la amplificación de movimientos sísmicos. Esta situación se ve agravada por el crecimiento urbano acelerado que ha experimentado la zona en los últimos años, el cual no ha estado acompañado de una planificación estructural adecuada ni de la aplicación estricta de normativas sismorresistentes.

La mayoría de las edificaciones existentes fueron construidas antes de la entrada en vigor del Reglamento Sísmico Dominicano R-001, lo que implica que no fueron diseñadas considerando criterios de resistencia sísmica (Tavárez Bello, García Reyes, & Melo Mateo, 2019). Además, la presencia de suelos con características heterogéneas, como limos y arcillas expansivas, ha contribuido a la vulnerabilidad estructural de las construcciones, generando riesgos latentes para la seguridad de la población (Zapata, 2022).

En este contexto, el proyecto se desarrolló con el propósito de evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en zonas urbanas de Cotuí y proponer un diseño sismorresistente adaptado a las condiciones locales.

1.3 Diagnóstico del estado actual:

Se realizó una evaluación diagnóstica en una muestra de siete edificaciones ubicadas en zonas urbanas de Cotuí, identificadas como vulnerables por su antigüedad, tipo de estructura y estado constructivo. Se determinó que el 57% de las edificaciones evaluadas presentaron grietas pequeñas, mientras que el 43% mostró grietas de tamaño moderado. En cuanto al sistema estructural predominante, el 57% correspondía a estructuras de hormigón armado y el 43% restante a mampostería. Se observó que el 86% de las edificaciones estaban asentadas sobre terreno firme, mientras que el 14% lo hacían sobre suelo blando. Además, el 71% de las construcciones tenían dos niveles, y el 29% superaba los tres niveles. En cuanto al nivel de vulnerabilidad sísmica percibida, el 42% fue clasificado como moderado, el 29% como bajo y el 29% como alto. Estos resultados evidenciaron la necesidad de intervenir estructuralmente en las edificaciones analizadas para reducir su vulnerabilidad ante eventos sísmicos.

1.4 Objetivos del diagnostico

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad sísmica existente en las estructuras del municipio de Cotuí, Sánchez Ramírez, y desarrollar una propuesta de diseño basada en la Norma Sísmica Dominicana R-001.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar las características geológicas y constructivas de las zonas vulnerables del municipio de Cotuí.
2. Evaluar el grado de vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes en dichas zonas.
3. Proponer un diseño estructural sismorresistentes adaptado a las condiciones del municipio.

1.5 Metodología

Este acápite brinda todos los aspectos relacionados con la metodología empleada en el trabajo de investigación como son: diseño y tipo de estudio, población y muestra, criterios de inclusión y exclusión, técnicas e instrumento, validez y confiabilidad del instrumento, procedimientos y análisis de los resultados.

1.6 Tipo de investigación

En la presente investigación se desarrolló un diseño no experimental debido a que no se manipularon variables. Según Hernández (2010). En cuanto al tipo de estudio fue descriptivo, ya que se describieron fenómenos, situaciones, contextos y eventos como ocurrieron y se manifestaron en cuanto a análisis y diseño de estructuras sismorresistentes en zonas vulnerables en el municipio de Cotuí, en el año 2025-2026.

Según Sabino, (2007), “La investigación es de tipo descriptiva trabaja sobre realidades de hechos, y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Para la

investigación descriptiva, su preocupación primordial radica en descubrir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada”.

La exploración de campo, fue aquella en la cual se buscaron exhaustivamente los fenómenos para describirlos. Se definió el estudio de campo como “aquel en el que se recogen los datos directamente de la realidad, los cuales se denominan primarios. Se valora porque permiten asegurarse de las verdaderas condiciones en que se han obtenido los datos para revisarlos o modificarlos en caso de dudas”, (Tamayo, 2009).

Hernández, et al., (2010), dicen que los estudios de tipos descriptivos buscan especificar las propiedades de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis, estos miden de manera más bien independiente los conceptos o variables a los que se refieren y se pueden integrar las mediciones de cada una de dichas variables para decir como es y cómo se manifiesta el fenómeno de interés.

Esta investigación fue documental y de campo. Según Sampieri, (2010), define la investigación documental como “aquella en la que se detectan, obtienen y consultan bibliografías, materiales e informaciones recogidas de cualquier realidad de manera que puedan ser útil para el estudio”.

1.7 Enfoque metodológico

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, (2014), categorizan el enfoque investigativo en dos categorías cualitativo y cuantitativo. El cuantitativo utiliza recolección de

datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico. Además, es cualitativa usa la recolección de datos sin medición numérica para describir y afinar preguntas de investigación y puede o no probar hipótesis en su proceso de interpretación. Evalúa el desarrollo natural de los sucesos, es decir, no hay manipulación, ni estimulación con respecto a la realidad.

Según la definición de cada categoría, la presente investigación fue cuantitativa, dado que se requirió del análisis de datos cuantitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencia producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. La cuantitativa, utiliza recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico.

1.7.1 Técnica y recolección de datos

Esta investigación utilizó el uso de la técnica de la encuesta; a través del instrumento del tipo cuestionario, elaborado con quince (15) preguntas cerradas para los munícipes del municipio de Cotuí.

Se empleó este instrumento por considerar que es el más apropiado para este tipo de investigación, ya que permitió obtener de forma eficaz, mayor información en base a las variables y facilitó su aplicación. El instrumento estuvo estructurado por tres (03) secciones sobre la base de cada una de las variables e indicadores que sirvieron de marco a la investigación.

Para lograr la validez del instrumento, el cuestionario fue presentado al asesor y a los miembros del área de investigación, a fin de verificar que estuviera acorde con las variables e indicadores. Además, el instrumento fue revisado por el asesor.

Para la validez, el instrumento fue entregado a tres (3) expertos en metodología de la investigación, quienes realizaron las correcciones y emitieron su opinión al respecto. Los expertos validaron y expresaron si podía ser aplicado atendiendo a esto, se procedió a aplicarlo a la población participante en el estudio.

1.7.2 Población y muestra

En esta investigación se asumió como población todas las edificaciones con condiciones de vulnerabilidad estructural ubicadas en el municipio de Cotuí, particularmente aquellas construidas antes de la aplicación de normas sismorresistentes vigentes. La muestra estuvo conformada por 8 edificaciones las cuales fueron previamente identificadas como vulnerables, considerando que se trataba de un universo reducido y accesible. Este abordaje permitió analizar de manera integral las características constructivas, los riesgos potenciales frente a un evento sísmico y las necesidades de reforzamiento estructural, asegurando que los resultados obtenidos tuvieran validez representativa para la realidad local.

1.7.3 Análisis de datos

Para el procedimiento, análisis e interpretación de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 23 en español y los datos se representaron en orden de las variables e indicadores en distribución de frecuencia los cuales se organizaron en cuadros de frecuencias simples.

1.7.4 Limitación del estudio

En esta investigación se incluyeron todas las edificaciones ubicadas en el municipio de Cotuí que presentaron condiciones de vulnerabilidad estructural frente a sismos, particularmente

aquellas construidas antes de la implementación de las normas Sismorresistentes vigentes o que evidenciaron deficiencias constructivas.

Se excluyeron de esta investigación las edificaciones de reciente construcción que cumplen con la normativa Sismorresistentes actual, así como aquellas cuya ubicación o acceso resultó limitado y no permitió la recopilación adecuada de información.

1.8 Presentación de los resultados

Esta sección se desarrolló la presentación de los resultados, haciendo énfasis en los datos adquiridos luego de haber aplicado el mismo a nuestra muestra en búsqueda de dar respuestas a nuestras variables planteadas, en función de evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en las zonas urbanas del municipio de Cotuí y proponer un diseño sismorresistente acorde a sus condiciones geológicas y constructivas. Los mismos estuvieron reflejados por medio de tablas de distribución de frecuencia con sus respectivos análisis.

1.8.1 Características geológicas

Tabla No. 1 correspondiente a si la edificación muestra grietas visibles.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
No tiene	1	13
Pequeñas	4	50
Moderadas	3	37
Grandes		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 1 sobre si la edificación muestra grietas visibles en el 50% se observaron pequeñas grietas, mientras que en el 37% se visualizaron moderadas grietas, y el restante 13% no tuvo grietas visibles.

Tabla No. 2 correspondiente a cómo se visualiza el terreno alrededor de la edificación.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Firme	6	75
Humedad ligera	1	13
Suelo blando	1	12
Muy húmedo		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 2 sobre cómo se visualiza el terreno alrededor de la edificación, el 75% se observó firme, mientras que, el 13% estuvo en suelo con humedad ligera, y un 12% fue blando.

Tabla No. 3 correspondiente a cuántos niveles tiene la edificación.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
1 Nivel		63
2 Niveles	5	
3 Niveles		
Más de 3 niveles	3	37
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 3 sobre cuántos niveles tiene la edificación el 63% tuvo 2 niveles, en tanto, el 37% restante tuvo más de 3 niveles.

Tabla No. 4 correspondiente a si la edificación ha sido modificada o ampliada.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
No	5	63
Cambios menores		
Cambios moderados	1	12
Ampliaciones significativas	2	25
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 4 sobre si la edificación ha sido modificada o ampliada, el 63% no fue modificada o ampliada, mientras que un 25% presentó ampliaciones significativas, y el restante 12% recibió cambios moderados.

Tabla No. 5 correspondiente a cuál es el sistema estructural predominante.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Hormigón armado	5	63
Muros parcialmente reforzados		
Mampostería	3	37
Híbrido/improvisado		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 5 sobre cuál es el sistema estructural predominante, el 63% estuvo estructurado en hormigón armado, mientras que el 37% estuvo estructurado en mampostería.

1.8.2 Vulnerabilidad estructural

Tabla No. 6 correspondiente a cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica percibida en la edificación.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Baja	2	25
Moderada	4	50
Alta	2	25
Muy alta		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 6 sobre cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica percibida en la edificación, un 50% fue moderado, mientras que un 25% su nivel fue bajo, y el otro 25% restante fue alto.

Tabla No.7 correspondiente a si la edificación presenta irregularidades en planta (como forma en L, reentrancias, o geometrías no compactas).

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
No presenta irregularidades	6	75
Ligeras irregularidades	2	25
Notorias irregularidades		

Irregularidades severas que
afectan simetría

Total	8	100
--------------	----------	------------

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 7 sobre si la edificación presenta irregularidades en planta (como forma en L, reentrenadas, o geometrías no compactas), el 75% no presentó irregularidades, mientras que el 25% presentó ligeras irregularidades.

Tabla No. 8 correspondiente a si los elementos estructurales presentan corrosión, desprendimiento de recubrimiento o exposición del acero.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
No	4	50
Leve	4	50
Moderado		
Severo		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 8 sobre si los elementos estructurales presentan corrosión, desprendimiento de recubrimiento o exposición del acero, el 50% tuvo leves, mientras que el otro 50% no los tuvo.

Tabla No. 9 correspondiente a si existen asentamientos diferenciales visibles en zapatas, aceras o muros.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
No	7	87
Mínimos		
Moderados	1	13
Severos		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 9 sobre si existen asentamientos diferenciales visibles en zapatas, aceras o muros, en el 87% de las edificaciones no existieron, sin embargo, el 13% presentó algunas moderadas.

Tabla No. 10 correspondiente a cuál es la ubicación y condición del terreno alrededor de la edificación.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Sobre terreno plano y estable (sin pendientes ni erosión visible)	4	50
Cercana a pendiente ligera (pendiente $\leq 15\%$) o corte menor	2	25
Cercana a pendiente pronunciada (pendiente $>15\%$) o talud con signos de erosión		
Junto a cauce / zona de inundación visible o suelo blando expuesto	2	25
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 10 sobre cuál es la ubicación y condición del terreno alrededor de la edificación, el 50% estuvo sobre terreno plano y estable (sin pendientes ni erosión visible), mientras que el 25% estuvo cercana a pendiente ligera (pendiente $\leq 15\%$) o corte menor, y el restante 25% se encontró junto a cauce / zona de inundación visible o suelo blando expuesto.

Tabla No. 11 correspondiente a cuál es la edad aparente y mantenimiento general (según acabados, corrosión, pintura, limpieza).

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Nueva / bien mantenida (<10 años o en muy buen estado)	3	37
Moderada (10–30 años, mantenimiento aceptable)	3	38

Antigua (>30 años) con mantenimiento deficiente	2	25
Muy deteriorada / abandono		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 11 sobre cuál es la edad aparente y mantenimiento general (según acabados, corrosión, pintura, limpieza), el 38% tuvo edad moderada (10–30 años, mantenimiento aceptable), mientras que, un 37% fue nueva / bien mantenida (<10 años o en muy buen estado), y el restante 25% fue antigua (>30 años) con mantenimiento deficiente.

Tabla No. 12 correspondiente a cómo es la distribución de cargas aparentes (uso y ocupación del edificio).

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Residencial liviano	1	13
Comercial moderado (tiendas pequeñas, oficinas)	4	50
Comercial pesado / almacenes		
Mixto con variaciones significativas de carga	3	37
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 12 sobre cómo es la distribución de cargas aparentes (uso y ocupación del edificio), un 50% fue comercial moderado (tiendas pequeñas, oficinas), mientras que otro 37% fue mixto con variaciones significativas de carga, y el restante 13% correspondió a un residencial liviano.

Tabla No. 13 correspondiente a cuál es la rigidez lateral aparente del edificio (capacidad para resistir fuerzas horizontales).

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Rigidez buena (muros portantes o marcos bien definidos)	5	63

Rigidez moderada (combinación de muros y vacíos)	3	37
Rigidez baja (muchos vanos amplios / vidrio / muros removidos)		
Rigidez muy baja (planta blanda evidente / primer nivel débil)		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 13 sobre cuál es la rigidez lateral aparente del edificio (capacidad para resistir fuerzas horizontales), el 63% poseyó rigidez buena (muros portantes o marcos bien definidos), mientras que el restante 37% tuvo rigidez moderada (combinación de muros y vacíos).

Tabla No. 14 correspondiente a cómo es la simetría en planta y distribución de masas de la edificación.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Simétrica	4	50
Ligeramente asimétrica	4	50
Notablemente asimétrica		
Muy irregular, con riesgo de torsión		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 14 sobre cómo es la simetría en planta y distribución de masas de la edificación, un 50% correspondía a edificaciones ligeramente asimétricas, y también el restante 50% fue a edificaciones simétricas.

Tabla No. 15 correspondiente a en qué nivel de exposición a amenazas naturales se encuentra la edificación, según la condición de la zona donde está ubicada.

Alternativa	Edificaciones Frecuencia	%
Baja (zona estable, sin amenazas visibles)	5	63
Media (cercanía a cauces o zonas inundables)	3	37
Alta (pendientes, taludes, erosión, suelo saturado)		
Muy alta (fallas visibles, hundimientos, grietas en el terreno)		
Total	8	100

Fuente: Cuestionario aplicado a edificaciones vulnerables.

Según la tabla No. 15 sobre en qué nivel de exposición a amenazas naturales se encuentra la edificación, según la condición de la zona donde está ubicada, el 63% fue baja (zona estable, sin amenazas visibles), mientras que el 37% fue media (cercanía a cauces o zonas inundables).

1.9 Análisis de los resultados

Después de haber aplicado el cuestionario a las 8 edificaciones que seleccionamos como muestra en Cotuí, y de haber revisado cada una con ayuda de nuestro asesor, pudimos darnos cuenta de varias cosas que, aunque en el papel parecen números, en la realidad representaron riesgos reales para muchas familias.

La mayoría de las edificaciones (50%) presentaron grietas pequeñas, pero también hubo 3 de ellas con grietas moderadas, y solo una no tuvo ninguna visible. No son grietas que se vieran a simple vista como grandes fisuras, pero si sabes estudiar, te decían que algo ya no estaba funcionando como debería. Muchas de esas grietas aparecieron en muros de carga o cerca de

columnas, lo cual fue preocupante porque indicaba que el movimiento ya afectaba elementos estructurales.

Algo que nos llamó la atención fue que 6 de las 8 edificaciones estuvieron sobre terreno firme, lo cual fue bueno, pero aun así presentaron daños. Esto nos hizo pensar que el problema no era solo el suelo, sino el diseño y la falta de mantenimiento. Por ejemplo, el 63% de las estructuras fueron de hormigón armado, lo cual sonaba seguro, pero al revisarlas vimos que muchos no tenían el refuerzo adecuado, o las columnas estaban expuestas por desprendimiento del recubrimiento. En una de ellas, hasta se veía el acero oxidado. Eso no fue solo un problema estético: fue una señal de que la estructura estaba perdiendo capacidad.

Otro dato, fue que solo 2 de las 8 edificaciones parecieron tener un mantenimiento decente. Las demás ya tenían más de 10 años sin pintura, sin sellado de grietas, sin limpieza de drenajes. Y cuando el agua entraba, el daño se aceleraba. Una de las edificaciones incluso tenía una losa del segundo nivel con una ligera inclinación, que los habitantes notaron porque “la puerta ya no cerraba bien”. Eso no estaba en el cuestionario, pero lo anotamos porque es una señal clara de asentamiento diferencial.

También se observó que el 37% de las edificaciones tenía uso mixto: vivienda y negocio, o vivienda y almacén. Eso significó que las cargas no siempre fueron las que se pensaron en el diseño original. En una de ellas, el primer nivel era una bodega con mucho peso, y el segundo una vivienda. Nadie había revisado si la estructura aguantaba ese peso. Y el 50% fue de uso comercial moderado (tiendas pequeñas, oficinas), representando este el mayor porcentaje.

En cuanto a la forma de las edificaciones, la mayoría (75%) no presentaron irregularidades graves en planta, lo cual es bueno, pero el 50% fue ligeramente asimétricas. Eso no fue un problema si se diseñó bien, pero si no se consideró en el diseño, podía generar torsión en un sismo. Y como ninguna de ellas tenía un estudio de suelo actualizado, no sabemos si eso fue tomado en cuenta.

Solo 2 de las 8 edificaciones fueron percibidas como de “baja vulnerabilidad” por los habitantes, y otras 2 como de “alta vulnerabilidad”, y en 4 de ellas su nivel fue moderado. Pero cuando nosotros revisamos, ninguna de las 8 cumplió cabalmente con lo que hoy exige el R-001. Algunas estuvieron cerca, pero ninguna superaría una evaluación estructural formal si hoy se aplicara la norma.

Este trabajo demostró claramente que el problema no fue que la gente no desee vivir segura, sino que no hubo información, no hubo fiscalización, y no hubo cultura de mantenimiento. Muchos tendieron a sostener que, porque una casa “no se había caído”, estaba bien. Pero cuando una columna ya no tiene recubrimiento, o una viga tiene grietas en forma de escalera, se entiende que el daño ya empezó, solo que no ha terminado.

1.10 Descripción del problema específico a solucionar con el proyecto

Cotuí, ubicada en la provincia Sánchez Ramírez, se encuentra en una zona geológicamente sensible, donde la composición del suelo puede amplificar los efectos de los sismos, incluso cuando estos ocurren en otras regiones del país. Esta condición incrementa la exposición de las edificaciones existentes, muchas de las cuales podrían no estar preparadas para resistir movimientos telúricos significativos, poniendo en riesgo la seguridad de la población.

En los últimos años, el crecimiento urbano de Cotuí, impulsado por la expansión de actividades industriales y mineras, ha generado la construcción de numerosas edificaciones que, en muchos casos, no incorporan criterios estructurales adaptados a la vulnerabilidad sísmica local. Esta situación crea un riesgo potencial tanto para la seguridad de los habitantes como para la continuidad de las operaciones productivas en la zona.

Asimismo, la presencia de infraestructura estratégica de alto impacto social y económico, como represas y otras obras críticas, hace indispensable garantizar la seguridad estructural frente a posibles eventos sísmicos. Un daño en estas instalaciones podría tener repercusiones graves a nivel local y regional, afectando el suministro de servicios esenciales y la estabilidad económica de la provincia.

Aunque existen normativas nacionales para el diseño de edificaciones sismorresistentes y programas de supervisión, se observa una brecha entre los estándares requeridos y la realidad de muchas construcciones en Cotuí. La falta de estudios específicos sobre el comportamiento estructural de las edificaciones locales limita la capacidad de implementar mejoras efectivas, adaptadas al tipo de suelo y a las características constructivas predominantes.

En consecuencia, se evidencia la necesidad de desarrollar investigaciones que permitan analizar y proponer diseños estructurales sismorresistentes adaptados a Cotuí, con el fin de fortalecer la resiliencia de las edificaciones, reducir riesgos para la población y garantizar la integridad de la infraestructura crítica. Este enfoque también podría servir como modelo para otras zonas con condiciones geológicas y urbanísticas similares.

1.10.1 Formulación del Problema

¿Cómo se comportan las estructuras en zonas vulnerables ante movimientos sísmicos y cómo puede aplicarse un diseño sismorresistente adecuado para mejorar la seguridad?

1.10.2 Sistematización del problema

1. ¿Cómo reaccionan las edificaciones de diferentes niveles y materiales en zonas vulnerables durante la acción de movimientos sísmicos?
2. ¿Qué factores, como el tipo de suelo, la altura de la edificación y la calidad de los materiales, influyen en la vulnerabilidad de las estructuras frente a sismos en la zona de estudio?
3. ¿Cómo puede implementarse un diseño sismorresistente que mejore la seguridad y reduzca el riesgo de colapso en edificaciones ubicadas en zonas sísmicamente vulnerables?

1.11 Análisis del problema

El análisis del problema se centró en identificar los factores que incidieron en la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en Cotuí. Se determinó que el tipo de suelo, la antigüedad de las construcciones, la falta de mantenimiento, la ausencia de diseño estructural sismorresistente y la presencia de grietas y asentamientos diferenciales fueron variables determinantes en la respuesta estructural ante un evento sísmico. Además, se constató que muchas de estas edificaciones no cumplían con los requisitos mínimos establecidos en el Reglamento Sísmico Dominicano R-001-11, lo que incrementa su probabilidad de fallo estructural. La ausencia de estudios técnicos previos que evalúen el comportamiento sísmico de estas construcciones limita la capacidad de intervención eficaz por parte de las autoridades locales y técnicos responsables.

1.12 Análisis de objetivos:

El objetivo general del proyecto fue evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en zonas urbanas del municipio de Cotuí y proponer un diseño sismorresistente acorde a sus condiciones geológicas y constructivas. Los objetivos específicos incluyeron: (1) identificar las características geológicas y constructivas de las zonas vulnerables del municipio; (2) evaluar el grado de vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes; y (3) proponer un diseño estructural sismorresistente adaptado a las condiciones locales. Estos objetivos fueron alcanzados mediante la aplicación de una metodología cuantitativa, descriptiva y de campo, que permitió la recolección y análisis de datos estructurales y geotécnicos representativos de la realidad local.

1.13 Justificación del Proyecto:

1.13.1 Valor teórico

El valor teórico que reviste esta investigación como objeto de estudio dentro del área de la ingeniería estructural es contribuir con los estudios existentes sobre el análisis y diseño de estructuras sismorresistentes en zonas vulnerables. Con ello se busca determinar alternativas de diseño y normativas que sirvan como guía para el desarrollo seguro de edificaciones frente a movimientos sísmicos.

Las principales aportaciones teóricas de esta investigación son: generar conocimiento actualizado sobre el comportamiento estructural en zonas sísmicas, y fortalecer a la comunidad académica y profesional con fundamentos teóricos y prácticos que permitan diseñar edificaciones más seguras y resilientes ante eventos sísmicos.

1.13.2 Implicaciones prácticas

Al estudiar los criterios de análisis y diseño de estructuras sismorresistentes, las zonas vulnerables se verán beneficiadas, ya que se podrán identificar soluciones constructivas que garanticen mayor seguridad y sostenibilidad en futuros planes de urbanización y desarrollo.

Asimismo, el conocimiento obtenido servirá como modelo para implementar diseños estructurales adaptados al contexto local y evaluar el nivel de mejora en la resistencia sísmica de las edificaciones mediante la aplicación de normas técnicas y observación de campo.

1.13.3 Relevancia social

Con esta investigación se identificarán las comunidades y edificaciones más expuestas a riesgos sísmicos, así como los problemas actuales de seguridad estructural en diferentes sectores de las zonas vulnerables. Esto permitirá proponer medidas de mitigación y fortalecer la cultura de prevención en la población frente a eventos sísmicos, contribuyendo a la reducción de pérdidas humanas y materiales.

1.13.4 Utilidad

Existen recursos teóricos, técnicos, económicos y materiales suficientes para llevar a cabo el estudio, por lo que no se prevén limitaciones que impidan la realización de la investigación. Los resultados serán de gran beneficio para los gobiernos locales, las instituciones públicas vinculadas a la gestión de riesgos, el sector de la construcción y los estudiantes de ingeniería civil, al contar con material actualizado sobre el análisis y diseño de estructuras sismorresistentes que permita reducir la vulnerabilidad de las edificaciones en zonas de riesgo.

1.14 Análisis de involucrados:

Los principales actores involucrados en el proyecto son: (1) los propietarios y habitantes de las edificaciones evaluadas, quienes se beneficiarán directamente de la reducción del riesgo sísmico; (2) las autoridades municipales y provinciales, responsables de la gestión del riesgo y la planificación urbana; (3) los profesionales de la ingeniería civil y la construcción, quienes podrán aplicar los resultados en futuros diseños e intervenciones; (4) la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), como institución formadora de recursos humanos y generadora de conocimiento aplicado; y (5) las organizaciones de gestión de riesgos y emergencias, que podrán utilizar la información para la planificación de respuesta ante desastres. La colaboración entre estos actores es esencial para garantizar la sostenibilidad y el impacto de las propuestas técnicas derivadas del proyecto.

CAPITULO II:

REVISION DE LITERATURA

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta el marco teórico que sustenta la investigación, el cual se ha construido a partir de los conceptos fundamentales relacionados con el análisis y diseño de estructuras Sismorresistentes en zonas vulnerables. Dicho marco integra teorías, enfoques y criterios técnicos que permiten comprender cómo los fenómenos sísmicos afectan a las edificaciones y cuáles son las estrategias de ingeniería más pertinentes para garantizar su seguridad y resiliencia. Para el desarrollo de este apartado se han consultado fuentes bibliográficas actuales y de relevancia en el ámbito de la ingeniería estructural y la gestión del riesgo sísmico.

2.2 Antecedentes

La magnitud de las pérdidas ocasionadas por los desastres naturales, y en especial por los sismos, nos recuerda la fragilidad de la vida humana frente a la fuerza de la naturaleza. Cada vez que ocurre un evento telúrico de gran intensidad, no solo se ponen a prueba nuestras estructuras físicas, sino también nuestra capacidad como sociedad para anticiparnos, prevenir y mitigar los riesgos. Aunque existen numerosos estudios orientados a comprender las características del suelo y diseñar edificaciones capaces de responder de manera adecuada a un terremoto, la realidad evidencia que en muchos lugares todavía prevalece la falta de aplicación de estos conocimientos o la ausencia de programas de mitigación del riesgo sísmico.

Un claro ejemplo de ello fue el terremoto ocurrido en Haití en enero de 2010 (Eberhard, Baldrige, Marshall, & Mooney, 2010), uno de los más devastadores de la historia reciente en el

Caribe. La tragedia dejó cientos de miles de personas fallecidas y pérdidas materiales incalculables, no solo por la magnitud del sismo, sino también por el deficiente comportamiento estructural de gran parte de las edificaciones. Muchas construcciones, levantadas sin criterios técnicos de diseño Sismorresistentes, colapsaron de forma total o parcial, exponiendo la enorme vulnerabilidad de un país marcado por limitaciones económicas, sociales e institucionales. Este evento evidenció de manera dramática el costo humano y material que implica no contar con una infraestructura adecuada frente a fenómenos de esta naturaleza.

A lo largo de los últimos años, la ingeniería estructural ha logrado avances significativos en el diseño y la construcción de edificaciones Sismorresistentes, incorporando normativas modernas y criterios técnicos que buscan garantizar mayor seguridad. Sin embargo, una gran parte de las construcciones que utilizamos hoy en día fueron levantadas mucho antes de que existieran dichas normativas. Son edificaciones que, al no haber sido diseñadas para resistir los efectos de un sismo, se convierten en focos de vulnerabilidad para las comunidades que las habitan.

De ahí surge la importancia del análisis y diseño de estructuras Sismorresistentes en zonas vulnerables: no se trata solo de un desafío técnico, sino también de un compromiso ético y social. Reconocer cuáles edificaciones representan un riesgo, reforzarlas y garantizar que las nuevas construcciones se diseñen bajo criterios de seguridad sísmica es fundamental para proteger la vida, el patrimonio y el bienestar de las personas que conviven diariamente en estos espacios.

En la actualidad, la proyección y construcción de estructuras Sismorresistentes se han convertido en una prioridad en muchas regiones del mundo, especialmente en aquellas ubicadas en zonas de alta actividad sísmica. La resistencia de los edificios a los sismos es fundamental para garantizar la seguridad de las personas que los habitan o trabajan en ellos. En este artículo,

descubriremos cómo construir un edificio Sismorresistentes de forma segura, económica y con un buen diseño arquitectónico. (Inesa Tech, 2021)

La construcción de estructuras Sismorresistentes no solo es importante en zonas de alta actividad sísmica, sino que también puede ser beneficiosa en áreas con una baja actividad sísmica. La implementación de técnicas de construcción ante sismos puede mejorar la resistencia de los edificios y reducir los daños causados por otros fenómenos naturales, como los fuertes vientos o las inundaciones. (Inesa Tech, 2021)

Lamentablemente, en muchos países las normas para el diseño Sismorresistentes no son aplicadas en construcciones informales, lo cual repercute en elevar la vulnerabilidad de las estructuras. Al estudiar el comportamiento de edificaciones luego de un evento sísmico, se puede afirmar que cuando se toman en cuenta las normas de diseño Sismorresistentes, la construcción es debidamente supervisada y el sismo de diseño representa la amenaza sísmica real de la zona, los daños son considerablemente menores que en los casos en los cuales no se cumplen los requerimientos mínimos indispensables para tal fin. Sin embargo, es importante señalar que las normas Sismorresistentes por sí solas no pueden garantizar la inexistencia de daños ante un terremoto severo, en ellas se establecen requisitos mínimos para proteger la vida de las personas que ocupan la edificación (Blanco, 2021).

El daño severo o el colapso de un gran número de estructuras durante sismos de alta intensidad, se debe a la falla de uno o varios elementos cuya ductilidad y resistencia no son suficientes. Las conexiones entre elementos estructurales son puntos críticos, aparecen grietas diagonales y fallas por adherencia entre el concreto y el acero, anclaje insuficiente del refuerzo longitudinal y esfuerzos excesivos de flexión. Las losas pueden presentar daños por

punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales perpendiculares al plano de flexión a lo largo de la placa, debido al exceso de flexión producida por el movimiento (Blanco, 2021).

Las irregularidades de alturas de entrepisos, que repercuten en cambios bruscos de rigidez entre pisos adyacentes, hacen que la absorción y disipación de la energía al momento del sismo se concentre en los pisos flexibles, produciendo sobre sollicitación en los elementos estructurales. Las irregularidades en planta, de masa, rigidez y resistencia, pueden originar torsión, lo cual genera esfuerzos adicionales difíciles de evaluar (Blanco, 2021).

2.2.1 Antecedentes académicos internacionales.

En una investigación realizada por (Sánchez Veramendi, 2019), en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, una investigación titulada “Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de una Edificación de Concreto Armado de 4 Pisos en la Ciudad de Huacho - 2019”, en la cual se concluyó que el análisis estructural a la edificación de concreto armado de 4 pisos denotaba una gran vulnerabilidad sísmica debido a la zona de alta sismicidad, también se determinó que los resultados del análisis incumplían con los límites establecidos en la norma E.030 de diseño Sismorresistentes y que de acuerdo a dichos resultados podría observarse que los elementos estructurales con respecto a lo enfatizado en el daño sísmico nos daría posibles fallas y un comportamiento estructural no apropiado que presentaría un gran riesgo para las personas.

La zona en la que se encuentra la edificación de concreto armado de 4 pisos era de alta sismicidad, esto lo estipulaba el registro de sismos en espacio-tiempo ya que las aceleraciones del suelo eran muy altas debido al movimiento de sus placas tectónicas.

Para (Lora Alonso & Álvarez Deulofeu, 2022), en la revista Ciencia en su PC, realizaron un estudio titulado “Diseño Estructural Sismorresistentes de Edificios de Viviendas de Mampostería Reforzada en Palma Soriano”, concluyeron, la peligrosidad sísmica para la ciudad de Palma Soriano por el cambio de reglamento apenas se modificaba en el caso de edificios soportados en bases de suelos rígidos (Perfil C). No obstante, resultaba una discreta reducción de las demandas sísmicas horizontales, condicionada por la consideración de un por ciento significativamente menor de cargas de utilización en la NC46:2017 para el cálculo de los pesos sísmicos.

Una evaluación de la influencia del cambio de norma sísmica en el diseño estructural de los muros de mampostería reforzada y vigas de acople de hormigón armado mostró al estado límite último de cortante como dominante con respecto a los estados de flexión revisados.

(Barbat, Oller, & Vielma, 2021), en la investigación titulada: “Cálculo y diseño sismorresistente de edificios”. Aplicación de la norma NCSE-02, realizada para la revista del Centro Internacional de Métodos Numéricos En Ingeniería, llegaron a las siguientes conclusiones: Se había observado durante los terremotos ocurridos en el pasado, que ciertas estructuras, dentro de la misma tipología, experimentaron un daño más severo que otros, a pesar de estar ubicadas en la misma zona. Al grado de daño que sufrió una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características, se le denomina vulnerabilidad.

Por ello, a los edificios se les podía clasificar en más vulnerables o menos vulnerables frente a un mismo evento sísmico. Si se observa la figura 1.1, la respuesta de la estructura es consecuencia de la convolución del movimiento en la cimentación por la función de transferencia D. La vulnerabilidad frente a un sismo de determinadas características es una propiedad intrínseca

de cada estructura y, por tanto, independiente de la peligrosidad del emplazamiento. Esto quiere decir que una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo si no se encontraba en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica.

En el Análisis y diseño estructural sismorresistente de un edificio de concreto armado de cuatro pisos y un sótano, presentado por (Condori Ticona, 2022), en la Universidad Privada de Tacna, citaron las siguientes conclusiones, la norma de diseño de estructuras sismorresistentes recomienda el uso de sistemas estructurales que controlen el daño debido a su capacidad para disipar una parte importante de la energía producida por el sismo. Por ello, en este proyecto de tesis se realizó el análisis y diseño estructural sismorresistente de un edificio de concreto armado de cuatro pisos y un sótano destinado a viviendas multifamiliares.

El edificio se encontraba sobre un terreno de 710 m^2 en el distrito de La Yarada Los Palos donde el tipo de suelo era arena limosa con capacidad portante admisible de 1 kgf/cm^2 . La edificación tenía un área construida de 710 m^2 en sótano y en cada piso un área techada de 490 m^2 . En el sótano estaba la zona de estacionamientos, mientras que en el primer piso y los demás pisos se encontraban los departamentos.

La estructura del edificio estaba conformada por los muros de sótano, muros de corte, columnas y vigas; el sistema estructural por el análisis sísmico era de muros estructurales. El sistema del techo estaba compuesto por losas aligeradas y losas macizas. La cimentación, en base al análisis realizado se consideraron losas de cimentación con vigas de cimentación. El análisis de la superestructura se realizó mediante el software ETABS, mientras que para las cimentaciones se utilizó el software SAFE.

El análisis realizado tuvo la finalidad de obtener derivas menores a las permitidas para el concreto armado según la Norma Técnica de Edificaciones E.030 Diseño Sismorresistente; el diseño de los elementos estructurales se realizó por el método de resistencia especificado en la Norma Técnica de Edificaciones E.060 Concreto Armado. En los resultados se sustentaron mediante los cálculos y justificaciones obtenidos a partir de las Normas Técnicas de Edificaciones mencionadas.

Se concluyó que la edificación presentaba un adecuado comportamiento estructural y cumplía con los requisitos de las Normas Técnicas de Edificaciones. Debido a esto, se esperaba que el edificio muestre un comportamiento dúctil, lo que le permitiría resistir acciones sísmicas sin fallas por fragilidad o colapso.

En ese mismo orden (Faustino Sanchez Carrion, Mendez Leon , & Siesquen, 2022), en su investigación titulada Diseño Estructural Sismorresistente De Un Edificio De Cuatro Niveles En Concreto Armado, presentado en la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, de Perú llegaron a las siguientes conclusiones La estructuración que presentaba la edificación era la más adecuada, se veía reflejado al comprobar las irregularidades estructurales, tanto en planta como en altura, y la carencia de estas determinaba un mejor comportamiento estructural frente a un Sismo.

El diseño estructural, al realizarse con el Análisis Estático y el Análisis Dinámico, garantizó un mejor resultado, logrando tener las secciones óptimas, regulando la capacidad de soportar los esfuerzos requeridos, como regulando a la vez el sobre costo, que una estructura sobredimensionada podría alcanzar.

Al realizar el Análisis Dinámico, se tuvo que calcular un factor de Escala, puesto que la Fuerza Cortante que actúa sobre la Base (Cimentación), no cumplía con lo establecido, de ser como mínimo el 90% de la Fuerza Cortante Estática para estructuras irregulares, y del 80% para estructuras regulares. Realizando esto se llegó a los parámetros establecidos por la Norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente.

2.2.2 Antecedentes académicos nacionales

Tavárez Bello, García Reyes, & Melo Mateo, (2019), en su investigación titulada “Evaluación Estructural de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNPHU, conforme al Código R-001-11 de la República Dominicana”, llegaron a la conclusión que, gracias a los avances en la ciencia y en la tecnología, el ser humano ha podido llegar más lejos al momento de realizar investigaciones científicas, en el caso de la ingeniería estructural, investigaciones que han permitido conocer el verdadero comportamiento de una estructura ante un evento inusual, una sobrecarga, etc.

Estos avances han dado paso a la realización de modificaciones en los distintos códigos que rigen el diseño y análisis de obras civiles. En el caso de la República Dominicana el Reglamento para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras R001, cuya actualización más reciente y vigente a la fecha fue en el año 2011, con un período de treinta y dos (32) años respecto a la versión anterior de 1979.

Dando lugar a cuestiones como: ¿Qué sucederá entonces con las estructuras que fueron construidas hace décadas y que no cumplen con los códigos actuales?, ¿Cuáles serían las posibles soluciones para aumentar la capacidad resistente de este tipo de estructuras? Este trabajo se realizó

mediante un análisis dinámico y estático lineal para observar el comportamiento de la estructura hoy en día y determinar una solución que se ajuste a los requerimientos del código actual.

Esta investigación surgió debido a que la Fundación Universitaria Dominicana Pedro Henríquez Ureña (FUDPHU), deseaba comprobar el comportamiento de las edificaciones del campus y realizar readecuaciones estructurales de todos los edificios que fueran necesarias y para ello era necesario llevar a cabo un análisis de vulnerabilidad sísmica, ya que estos edificios se construyeron hace alrededor de 37 años, cuando el reglamento para el análisis y diseño sísmico de estructuras no existía y por ende no se podía asegurar su capacidad estructural frente a un evento sísmico.

Por otro lado, Erazo, K. (2020), en su Análisis probabilístico de peligro sísmico y terremoto de diseño para Santiago-República Dominicana, presentado en el vol. 03 de la revista Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones del Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), concluyó que este artículo presentó los resultados de un análisis probabilístico de peligro sísmico (APPS) realizado para un sitio en el centro de la ciudad de Santiago (República Dominicana). Para realizar el análisis se utilizaron datos recientes de la sismicidad de la falla Septentrional para calibrar un modelo de recurrencia de Gutenberg-Richter con límite.

El modelo calibrado se utilizó junto a la ley de atenuación de Campbell para estimar las curvas de peligro sísmico de distintos parámetros como magnitud de terremoto, aceleración máxima del terreno, y ordenadas del espectro de respuesta de pseudo-aceleración para una razón de amortiguamiento de 5 %. Los resultados del APPS se compararon con el espectro de respuesta de diseño con probabilidad de excedencia de 2 % en 50 años especificado en la normativa de la República Dominicana.

Se encontró que existe una probabilidad de 17 % de que las ordenadas espectrales excedan las especificadas en la norma de diseño debido a incertidumbres relacionadas a la ley de atenuación empleada en el análisis. Basado en el modelo de atenuación el espectro de diseño es consistente con los espectros generados por terremotos de magnitud momento de 7.9, valor que es cercano al terremoto característico de la falla Septentrional estimado en 7.8 en estudios recientes.

Para Arias De Jesús. (2024), en su Análisis estructural de un edificio de 10 niveles, utilizando un estudio de respuesta sísmica local versus el Reglamento para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras Dominicano, presentado en su trabajo de maestría en Sísmico de estructuras; Análisis modal espectral, concluyó Después de analizar el edificio de 9 niveles más 1 sótano, ubicado en Santiago de los Caballeros, para el cual se realizó un análisis sísmico modal espectral, teniendo en cuenta: a) Requerimientos del Reglamento Sísmico para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras (R-001). b) Estudio de respuesta sísmica local, para el emplazamiento del Instituto Tecnológico de México.

Las aceleraciones espectrales de diseño esperados para un periodo de retorno de 475 años, correspondientes a 10% probabilidad de ser excedida en 50 años, resultan mucho menores que los arrojados por el estudio de respuesta sísmica local para el emplazamiento antes mencionado.

Los factores de sitio también aumentan, cuando se procedió a los estudios de respuesta sísmica local. Cuando se revisan los valores de los desplazamientos máximos por piso utilizando el espectro de respuesta evaluado con el estudio de respuesta sísmica local, estos son mucho mayores a los desplazamientos máximos calculados según el Reglamento Sísmico Dominicano R-001.

Otra variable de gran interés que se ve afectada considerablemente, son las máximas derivas de pisos. Después de verificar los valores obtenidos con el espectro generado con la respuesta sísmica local y compararlos con los resultados obtenidos en el Reglamento Sísmico Dominicano R-001.

2.3 Marco teórico:

2.3.1 Características geológicas.

Según Habibollah, Ijaz, & Rao Martand, (2022), algunas características geológicas , como canales, lóbulos y arrecifes carbonatados, pueden representarse mediante formas geométricas. Los métodos de simulación basados en objetos, o métodos booleanos, son métodos geoestadísticos que asumen formas geométricas, es decir, objetos, para cuerpos geológicos y ubican dichos objetos en el modelo del subsuelo según las restricciones proporcionadas por las mediciones directas.

Los modelos basados en objetos se han utilizado con éxito, por ejemplo, en yacimientos fluviodeltaicos para representar sistemas canalizados con diferentes longitudes, sinuosidades y patrones de apilamiento. Al introducir el concepto de objetos, estos métodos proporcionan representaciones geométricas realistas de los cuerpos geológicos que imitan la continuidad geológica y la conectividad espacial, como en el caso de canales y extensiones de grietas. Estos métodos conservan una naturaleza probabilística, ya que se supone que la posición y la forma del objeto son estocásticas y pueden muestrearse a partir de una distribución de probabilidad.

Sin embargo, si se dispone de una cantidad significativa de información de mediciones directas e indirectas, el acondicionamiento de los datos puede ser un desafío debido a la gran cantidad de restricciones. Por lo tanto, los modelos basados en objetos se utilizan a menudo dentro

de un flujo de trabajo de geoestadística multipunto, donde la imagen de entrenamiento se genera utilizando métodos basados en objetos sin condicionamiento de datos y las simulaciones geo estadísticas se generan utilizando geo estadística multipunto para condicionar las realizaciones a los datos.

2.3.2 Técnicas de exploración

Detección de características geológicas como fallas, horsts y fosas mediante estudios aeromagnéticos.

Los estudios aeromagnéticos son bastante costosos y la interpretación de los datos suele ser compleja. Los datos magnéticos reflejan las variaciones en el campo magnético terrestre que surgen de la distribución de materiales magnéticos en el suelo. Además de la ambigüedad en el mapeo de esta distribución, existen problemas adicionales para determinar inequívocamente su asociación geológica. Grauch (2002), ha discutido algunas de estas limitaciones. Sin embargo, los estudios aeromagnéticos de alta precisión han tenido éxito en la estimación de la cubierta sedimentaria que recubre el basamento cristalino con bastante exactitud.

Deguen et al. (1974), informan que los estudios realizados sobre una cuenca poco profunda en Canadá fueron muy exitosos y que la profundidad del basamento estimada a partir de estudios aeromagnéticos resultó ser precisa, siendo el error inferior al 10% de la profundidad obtenida mediante la perforación en 8 sitios de un total de 12 pozos de perforación. McEuen (1970), De la Funte y Summer (1974), para el Valle Imperial en California, sugirió que la intensidad magnética deducida de un estudio aerotransportado depende únicamente de la profundidad del basamento.

Encontró posible obtener información útil sobre la distribución de la temperatura en profundidad comparando los valores de resistividad aparente obtenidos a partir de perfiles de resistividad de largo espaciamiento con los valores de intensidad magnética obtenidos a partir de perfiles similares generados a partir de un mapa magnético aerotransportado. Otro ejemplo interesante de la aplicación de la magnetometría aerotransportada a la exploración geotérmica ha sido presentado para la zona del delta del Río Colorado, Baja California, México. (Habibollah, Ijaz, & Rao Martand, 2022).

2.3.3 Tipos de suelo predominantes.

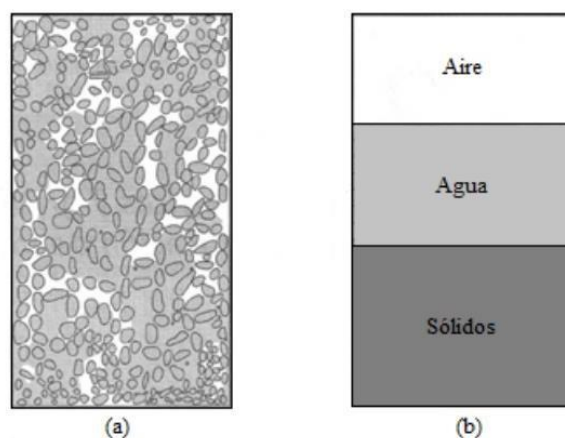
Según Zapata, (2022), el conocimiento del suelo que interviene en cualquier obra civil es de suma importancia para poder estimar el comportamiento futuro que tendrá, tanto durante como después del proceso constructivo, y así evitar cualquier posible imprevisto. Todas las obras se apoyan en el suelo de alguna u otra forma, e incluso algunas lo utilizan como material constructivo (diques, terraplenes, presas de tierra, carreteras, etc.). Es lógico prever que no todos los terrenos responderán de igual forma ante las mismas condiciones que impone una construcción o bien, el propio medio ambiente.

Esto es debido a los distintos tipos de suelos existentes, su estructura, origen, composición y antecedentes geológicos. Existen una serie de suelos que requieren de un análisis particular a la hora de encarar un proyecto, por los efectos adversos que puede generar la modificación de las condiciones in-situ de los mismos, como, por ejemplo, los suelos expansivos o los colapsables. Se entiende por suelo al conjunto de partículas minerales y/o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, y/o de origen orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica, sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire (de acuerdo a las

normas UNE-EN ISO 14688-1 y 14689-1). A partir de esta definición, podemos distinguir tres partes componentes, que ayudan a definir el comportamiento físico del suelo en su conjunto y nos permiten representarlo, para su estudio, mediante un modelo trifásico. Las fases componentes son:

- Partículas de suelo que constituyen la fase sólida o matriz del suelo.
- El agua presente en los vacíos, que constituye la fase líquida.
- El aire presente en los vacíos, que constituye la fase gaseosa.

Figura No. 03: Modelo trifásico

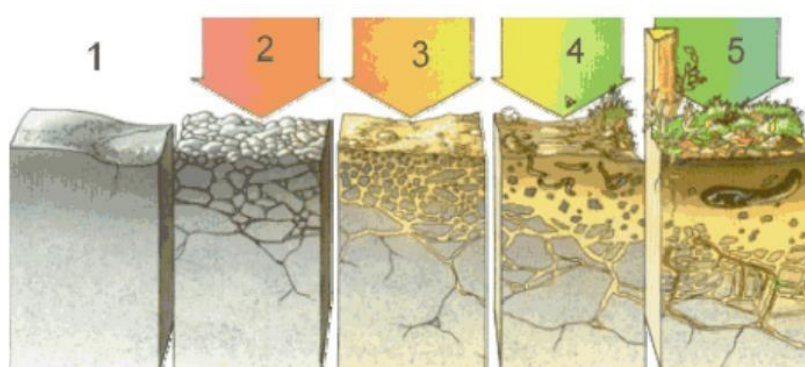


(a) Elemento de suelo en estado natural. **(b)** Modelo trifásico del elemento de suelo.

En la formación de los suelos, la roca madre se ve afectada por procesos de meteorización, tanto física (desagregación) como química (alteración). Luego mediante agentes naturales los productos de la meteorización pueden ser transportados causando la erosión de aquellas rocas más

superficiales de la corteza terrestre. Estos materiales se depositarán posteriormente y mediante diversos fenómenos se consolidará el suelo propiamente dicho.

Los procesos de formación del suelo se denominan edafogénesis, y los factores que intervienen en este proceso son: el clima, la topografía, la acción biológica, la composición litológica y el tiempo de actuación de todos ellos. Dentro de estas acciones debemos saber que la desagregación dará como producto gravas, arenas o limos, ya que para la formación de arcillas se requiere de transformaciones químicas. Después de la meteorización el suelo formado puede permanecer en el lugar (suelo residual) o ser transportado por agentes naturales como el agua, tanto en estado líquido como sólido, y el aire. (Zapata, 2022)



(1) Roca madre; (2) Acción mecánica; (3) Acción química; (4) Acción biológica; (5) Acción conjunta mecánica-química-biológica.

Figura No. 4: Proceso de formación de los suelos.

2.4 Clasificación de Suelos

Un sistema de clasificación de suelos proporciona un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada; consiste en categorizar y agrupar a los suelos junto con otros que posean características semejantes en cuanto a propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas similares. (Zapata, 2022)

Según el tamaño de las partículas, podemos distinguir los siguientes tipos de suelos:

- Gravas
- Arenas
- Limos
- Arcillas

Cuadro comparativo (Tabla 3.1) que contempla la clasificación de los suelos según el tamaño de sus partículas componentes, de acuerdo a la Norma IRAM 10535, el MIT (Massachusetts Institute of Technology), y los sistemas de clasificación ASTM D3282-93/97 ó VN - E4 - 84 (H.R.B.) y SUCS (Sistema Universal de Clasificación de Suelos). (Zapata, 2022).

Tabla No. 01: Clasificación de suelos según tamaños de sus partículas (medidas en mm),

Fuente: (Zapata, 2022).

	Norma IRAM 10535	MIT	SUC	ASTM D3282-93/97
Gravas	5 a 75	> 2	4,75 a 75	2 a 75
Arenas	0,075 a 5	0,06 a 2	0,075 a 4,75	0,075 a 2
Limos	< 0,075	0,002 a 0,060	< 0,075	< 0,075
Arcillas		< 0,002		

Se muestra una serie de muestras de suelos en las cuales se puede apreciar la diferencia de tamaños de partículas recién mencionada.

**Figura No. 5:** Diferentes muestras de tipos de suelos.

2.4.1 Suelos finos

Según la clasificación geotécnica del suelo, los suelos finos son aquellos que contienen más del 50 % de sus partículas pasando por el tamiz N° 200 (0,075 mm), lo que incluye principalmente materiales como limo y arcilla. Estos suelos presentan partículas muy pequeñas que influyen de forma significativa en sus propiedades físicas y mecánicas, como la plasticidad, compresibilidad y permeabilidad.

2.4.2 Arcillas

Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a los 0,002mm, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados. Se caracterizan por ser plásticas cuando se las humedecen y por la sonoridad y dureza al calentarla por encima de los 800°C. Como fue mencionado anteriormente, provienen de la alteración físico-química, por acción principalmente del agua, de minerales que forman parte de otras rocas preexistentes (feldespatos, piroxenos y micas), surgiendo así los “minerales de la arcilla”, en función de que roca se altera y en qué grado. Cuando se refiere a la arcilla no se habla de un único material de composición simple, sino de uno muy diverso en origen y composición. (Zapata, 2022)

2.4.3 Arcillas expansivas

Los suelos expansivos son aquellos que, parcial o totalmente saturados, aumentan significativamente su volumen cuando aumenta su contenido de humedad, a carga constante. Este término implica también la disminución de volumen o contracción si la humedad se pierde, pero debe tener presente que la contracción es simplemente el proceso inverso a la expansión.

Los materiales arcillosos que son susceptibles de sufrir hinchamiento, permitiendo una gran incorporación de agua, son principalmente los pertenecientes al grupo de las esmécticas. (Zapata, 2022)

2.4.4 Limos

Los limos son sedimentos clásticos transportados en suspensión por los ríos o el viento, o bien resultantes de procesos de glaciación. Son suelos no cohesivos cuyas partículas de forma redondeada, y el diámetro de las mismas varía entre 0,060mm y 0,002mm. Al no tener cohesión, es un terreno problemático para edificar sobre él, por lo que deben adoptarse sistemas especiales de cimentación. (Zapata, 2022)

2.4.5 Loess

Son suelos predominantemente limosos formados por acción eólica, es decir, por la deposición de partículas con tamaños entre los 10 y los 50 micrómetros (loess primario) que pueden ser retransportados y redepositados por otros medios (loess secundario o loessoides). Generalmente presenta un color amarillento y carece de estratificación. Está formado principalmente por silicatos (cuarzo, feldespato), carbonato de calcio, finísimos detritos orgánicos y minerales del grupo de las arcillas. (Zapata, 2022)

2.5 Nivel de riesgo sísmico según estudios previos.

De acuerdo con la USAID, el Ayuntamiento de Santiago y GEM (2022), para evaluar la amenaza y el riesgo sísmico a escala urbana es necesario generar estimaciones de amenaza sísmica que incorporen las características de la geología local y de los efectos no lineales de los suelos, los cuales generalmente no se consideran en los estudios nacionales o regionales de amenaza sísmica.

La caracterización de las fuentes sísmicas para el modelo propuesto para la República Dominicana se compone por tres ambientes tectónicos: la sismicidad activa superficial (cortical) y la sismicidad en las zonas de subducción intraplaca e interface.

La sismicidad activa de la corteza superficial, o cortical, se modela mediante dos compones: (1) la sismicidad distribuida modelada al suavizar las tasas de ocurrencia de fuentes puntuales en las zonas de origen, también conocida como sismicidad “suavizada”; y (2) rupturas que pueden abarcar una o varias fallas que capturan el rango de posibles terremotos que podrían ocurrir dentro de los sistemas de fallas que afectan a La Española. Estas fuentes se basan en el subcatálogo clasificado para la corteza superficial, la base de datos de fallas y las zonas de interface definidas en la trinchera de Los Muertos y en la trinchera de La Española Norte, según lo caracterizado por Terrier-Sedan y Bertil (2021).

Las incertidumbres epistémicas se incluyen en la modelación a través de un árbol lógico, donde cada incertidumbre corresponde a un conjunto de ramas. De esta forma, múltiple hipótesis o suposiciones sobre los parámetros inciertos utilizados en la modelación pueden propagarse en los resultados. Para las fuentes corticales, se consideraron incertidumbres en el método de ponderación utilizado para suavizar la sismicidad distribuida, en la magnitud máxima a través de la relación de escala-magnitud, en la tasa de deslizamiento en los sistemas de fallas de rumbo Oriental y Enriquillo-Plantain Garden, y en la relación de sismicidad en la falla y fuera de la falla.

La sismicidad en la interface de subducción está asociada con la trinchera de Puerto Rico, la cual se caracterizó como una fuente de falla compleja, es decir, una superficie 3D definida por un conjunto de "bordes" a lo largo del rumbo que están espaciados aproximadamente por igual a lo largo de la superficie de la interfaz de inmersión. Los bordes se derivan de la geometría de la

Trinchera de Puerto Rico Slab 2.0 (Hayes et al., 2018) y corresponden a la misma superficie utilizada para clasificar el tipo de sismicidad (interface o intraplaca). Para determinar la distribución de la magnitud de la frecuencia para la interface, se consideró la sismicidad observada clasificada en la interface, las dimensiones de la falla y la tasa de deslizamiento, y una combinación de ambos factores.

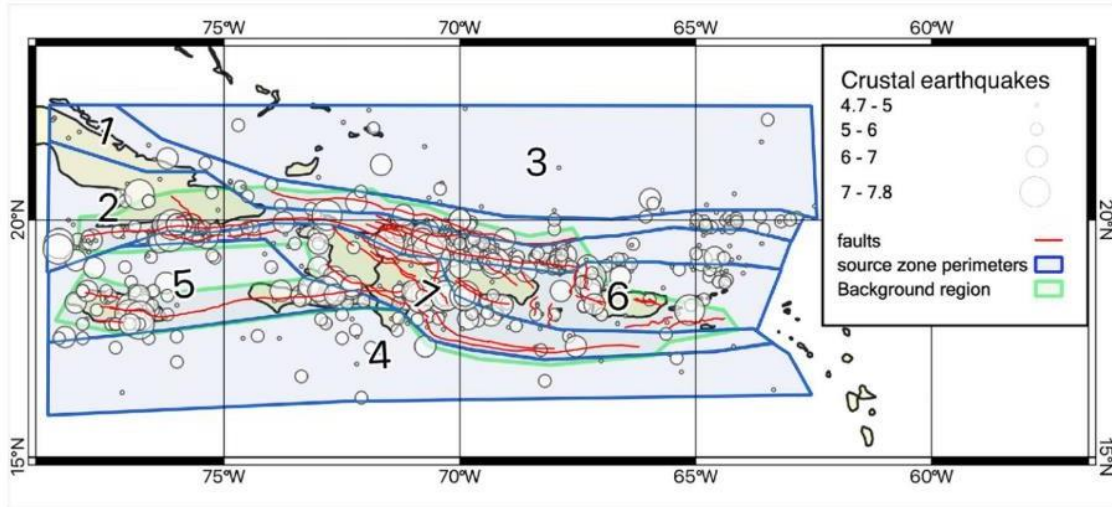


Figura No. 6: Fallas activas (rojas) y terremotos clasificados como corticales para $MW > 4.7$ (círculos blancos con diámetro de acuerdo con la magnitud) en la española.

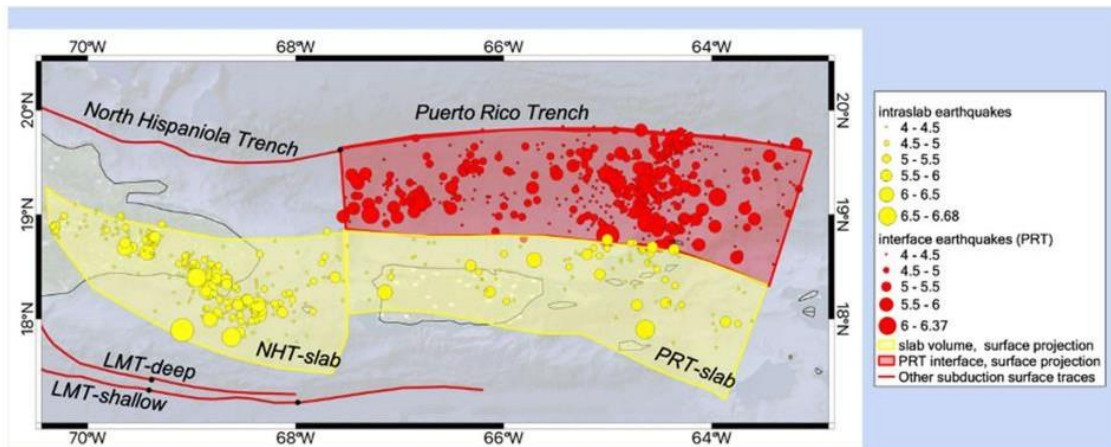


Figura No. 7: Geometría y eventos considerados en la caracterización de la subducción interface e interplaca.

2.6 Vulnerabilidad estructural.

En la revista de Aspectos Estructurales Efectos del Viento (Ge 2 /INTEC), presentada por Santo & Gibbs, (2020), abordan que, las expresiones estructurales, o sistemas primarios, se refieren a aquellas partes de un edificio que absorben las cargas gravitacionales y laterales y las transmiten al suelo de manera que mantienen la estabilidad de la construcción. Entre éstos se incluyen los cimientos, las columnas, los muros portantes, las vigas y los diafragmas.

Por su parte, AJH Soluciones Integrales, (2021), La vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a posibles daños en aquellas partes del establecimiento hospitalario que lo mantienen en pie ante un sismo intenso. Esto incluye cimientos, columnas, muros, vigas y losas.

Es fácil concluir que los hospitales son vulnerables frente a un desastre. Las formas y estrategias para implementar las medidas de prevención y mitigación en establecimientos hospitalarios dependerán de si estos ya existen o están por construirse; por ejemplo, el componente estructural debe ser considerado durante la etapa de diseño y construcción, cuando se trata de un nuevo edificio, o durante una etapa de reparación, remodelación o mantenimiento, cuando se trata de un edificio ya construido. Por otra parte, en la planificación de un hospital nuevo es necesario tener en cuenta que una de las mayores causas de daños en edificaciones han sido los esquemas arquitectónico-estructurales nocivos. Puede decirse de manera general que el alejamiento de formas y esquemas estructurales simples es castigado fuertemente por los sismos.

De cualquier forma, dada la naturaleza errática de los sismos, así como la posibilidad de que se exceda el nivel de diseño, es aconsejable evitar el planteamiento de configuraciones

riesgosas, independientemente del grado de sofisticación que sea posible lograr en el análisis de cada caso.

Lamentablemente, en muchos países de América Latina las normas de construcción sismorresistente no han sido efectivamente aplicadas y en otros no se han considerado especificaciones especiales para las estructuras de edificaciones hospitalarias.

Por esta razón, no es extraño que cada vez que ocurre un sismo en la región entre las edificaciones más afectadas siempre figuren los hospitales, que deberían ser las últimas en ser afectadas. En otras palabras, la vulnerabilidad estructural de los hospitales es alta, situación que debe ser corregida total o parcialmente con el fin de evitar enormes pérdidas económicas y sociales, en particular en los países en desarrollo.

2.6.1 Presencia de grietas, fisuras o daños en las estructuras.

Según los Ingenieros Asesores, (2022), La aparición de grietas en las paredes es algo bastante habitual y uno de los motivos principales de preocupación entre los propietarios de edificios. En ocasiones, se producen debido a la contracción de los materiales utilizados, aunque otras veces no aparecen hasta varios años después de finalizar la construcción.

Sin embargo, existen ciertos tipos de grietas estructurales peligrosas que pueden causar el colapso total o parcial de un muro. Cuanto más evidente es la grieta, más riesgo puede entrañar. Una grieta estructural es una rotura del elemento constructivo que afecta directamente a vigas, trabes y columnas. Como sugiere el nombre, las grietas estructurales ocurren debido a una construcción deficiente, sobrecargas o un mal soporte del suelo.

La gravedad de las grietas se puede identificar a través de su dirección, ubicación y extensión.

En las primeras etapas, es difícil detectar las grietas o el arqueamiento de las paredes de los cimientos porque la diferencia de apariencia puede ser mínima.

2.6.2 Grietas verticales

Las grietas verticales surgen generalmente debido a un asentamiento menor o una contracción normal. Pero, si llegan a ensancharse hasta 3 mm o más, puede ser una señal indicativa de que existe un problema de asentamiento grave, el cual requeriría una inspección por parte de expertos en ingeniería estructural.

Si las grietas tienen un espacio más amplio en la parte superior, lo más probable es que signifique que los cimientos se están cayendo en ese lado de la construcción o que el centro de los cimientos se está elevando por alguna razón. Si las grietas son más grandes en la parte inferior, indica lo contrario, es decir, el otro lado de la base se está cayendo o la parte media de la base se está hundiendo.

2.6.3 Grietas horizontales

Las grietas horizontales pueden suponer un problema muy grave, ya que significan que la pared está comenzando a fallar. Esto puede ser causado por un mal asentamiento de los cimientos del edificio, daños por humedad o tuberías obstruidas.

La nivelación del suelo, cuando se combina con un drenaje deficiente que rodea los cimientos, puede hacer que las paredes se saturen con agua. Esto aumenta la presión hidrostática

y, cuando se combina con la fuerza del peso del suelo, puede hacer que la base se derrumbe, por lo que aparecerá una grieta, un corte o una deformación. Cuando la grieta horizontal va acompañada de una inclinación, el daño sería calificado de muy grave.

2.6.4 Grietas en zigzag

Las grietas en zigzag son más comunes en paredes de ladrillo que de hormigón. Las grietas en zigzag o en escalón que siguen la línea de mortero en las paredes de ladrillo pueden indicar un defecto estructural, ya que su aparición también sugiere un mal asentamiento. Este problema es mucho más grave si el espacio en el mortero entre los ladrillos es de más de 1,30 cm, lo que requiere una atención inmediata por parte de profesionales en estructuras.

2.6.5 Cumplimiento con normas Sismorresistentes.

Según el decreto R-001 del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), (2011), el objetivo del cumplimiento es establecer los requerimientos mínimos que se deberán cumplir en el análisis y diseño sísmico de todas las estructuras que se erijan en el territorio nacional, para resistir los efectos de movimientos sísmicos, de tal forma que su estructura se mantenga estable, garantizando principalmente la seguridad humana. Así mismo, el campo de aplicación abarca todas las estructuras con énfasis en los tipos de estructuras que se encuentran incluida en el título 5 del citado reglamento.

Las estructuras a que se refiere este artículo incluyen, sin ser limitativo: presas y obras afines, plantas nucleares, oleoductos, puentes, tanques de almacenamiento de agua, muros de contención, silos, estructuras de sistemas de tuberías, estructuras en base a elementos de paredes delgadas, estructuras tridimensionales techadas para acoger multitudes, torres de comunicación y

de transmisión eléctrica, estructuras para generación de energía renovable, estructuras marítimas fuera de la costa, túneles y estructuras afines, estructuras para muelles y puertos y cualesquiera otras similares.

2.6.6 Estado de cimentaciones y columnas.

De acuerdo con Garza Vasquez , (2023), se entiende por cimentación a la parte de la estructura que transmite las cargas al suelo. Cada edificación demanda la necesidad de resolver un problema de cimentación. En la práctica se usan cimentaciones superficiales o cimentaciones profundas, las cuales presentan importantes diferencias en cuanto a su geometría, al comportamiento del suelo, a su funcionalidad estructural y a sus sistemas constructivos.

2.6.7 Cimentaciones superficiales

Una cimentación superficial es un elemento estructural cuya sección transversal es de dimensiones grandes con respecto a la altura y cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades relativamente cortas, menores de 4 m aproximadamente con respecto al nivel de la superficie natural de un terreno o de un sótano. En una cimentación superficial la reacción del suelo equilibra la fuerza transmitida por la estructura.

Esta reacción de fuerzas, que no tiene un patrón determinado de distribución, se realiza en la interfase entre el suelo y la sección transversal de la cimentación que está en contacto con él. En este caso, el estado de esfuerzos laterales no reviste mayor importancia. En consecuencia, el comportamiento estructural, de una cimentación superficial tiene las características de una viga o de una placa.

Las cimentaciones superficiales, cuyos sistemas constructivos generalmente no presentan mayores dificultades, pueden ser de varios tipos, según su función: zapata aislada, zapata combinada, zapata continua o losa de cimentación. En una estructura, una zapata aislada, que puede ser concéntrica, medianera o esquinera se caracteriza por soportar y trasladar al suelo la carga de un apoyo individual; una zapata combinada por soportar y trasladar al suelo la carga de varios apoyos y una losa de cimentación o placa por sostener y transferir al suelo la carga de todos los apoyos.

Las zapatas individuales se plantean como solución en casos sencillos, en suelos de poca compresibilidad, suelos duros, con cargas de la estructura moderadas. Con el fin de darle rigidez lateral al sistema de cimentación, las zapatas aisladas siempre deben interconectarse en ambos sentidos por medio de vigas de amarre.

Las zapatas combinadas se plantean en casos intermedios, esto es, suelos de mediana compresibilidad y cargas no muy altas. Con esta solución se busca una reducción de esfuerzos, dándole cierta rigidez a la estructura, de modo que se restrinjan algunos movimientos relativos. (Garza Vasquez , 2023).

2.6.8 Cimentaciones profundas

Una cimentación profunda es una estructura cuya sección transversal es pequeña con respecto a la altura y cuya función es trasladar las cargas de una edificación a profundidades comprendidas aproximadamente entre 4 m y 40 m. A diferencia de las cimentaciones superficiales, en una cimentación profunda, no solamente se presentan reacciones de compresión en el extremo inferior del elemento sino también laterales.

En efecto, la cimentación profunda puede estar sometida a momentos y fuerzas horizontales, en cuyo caso, no solo se desarrollará una distribución de esfuerzos en el extremo inferior del elemento, sino también lateralmente, de modo que se equilibren las fuerzas aplicadas. En consecuencia, el comportamiento estructural de una cimentación profunda se asimila al de una columna.

Las cimentaciones profundas pueden ser de dos tipos: Pilotes o pilas. Los pilotes, que tienen máximo un diámetro del orden de 0.80 m, son comparativamente más flexibles que las pilas cuyo diámetro es superior a los 0.80 m. La respuesta frente a solicitaciones tipo sismo o carga vertical es diferente en cada una de estas dos estructuras. Por las limitaciones de carga de un pilote individual, frecuentemente es necesario utilizar varios elementos para un mismo apoyo de la estructura en cuyo caso se utiliza una zapata apoyada en varios pilotes.

En otros casos, la situación puede ser aún más compleja: zapatas combinadas o losas de cimentación apoyadas en varios pilotes. Cuando se utilizan pilas como sistema de cimentación, generalmente se emplea un elemento por apoyo. Las pilas están asociadas a cargas muy altas, a condiciones del suelo superficialmente desfavorables y a condiciones aceptables en los estratos profundos del suelo, a donde se transmitirán las cargas de la estructura.

En cuanto a los sistemas constructivos, los pilotes pueden ser pre excavados y vaciados en el sitio o hincados o prefabricados e instalados a golpes o mediante vibración o presión mecánica. Las pilas siempre son pre excavadas y vaciadas en el sitio. El sistema constructivo empleado, tendrá incidencia en el diseño.

2.7 Diseño estructural.

El diseño estructural para zonas sísmicas busca, en esencia, equilibrar tres objetivos: (1) proteger la vida humana, (2) limitar daños estructurales que comprometan la funcionalidad de edificaciones críticas, y (3) optimizar costos y recursos mediante soluciones técnicamente justificadas. En el contexto de zonas vulnerables, estos objetivos deben enfrentarse a condiciones de proyecto complejas: suelos con diferentes características geotécnicas, infraestructura preexistente diseñada con normativas obsoletas y limitaciones institucionales y económicas que condicionan la aplicación de soluciones óptimas. El diseño sismorresistente moderno combina la previsión del movimiento del terreno (zonificación y espectros de diseño), métodos de análisis estructural (estáticos y dinámicos) y criterios de detalle y ductilidad que permitan disipar energía sin fallo frágil de los elementos estructurales.

2.7.1 Normas del Reglamento Sísmico de República Dominicana (R-001).

El Reglamento para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras (R-001), promulgado por el Estado dominicano (Decreto 201-11), establece los requerimientos mínimos para el análisis, diseño y verificación de edificaciones en la República Dominicana. Entre sus elementos más relevantes para el diseño estructural se encuentran:

Además, define zonas sísmicas y proporciona espectros de respuesta elástica y coeficientes para obtener la acción sísmica sobre las estructuras según el riesgo sísmico del lugar. Estos parámetros se apoyan en estudios probabilísticos de peligro sísmico y mapas de amenaza nacionales.

El reglamento clasifica las edificaciones según su uso y criticalidad (vivienda, servicios críticos, instalaciones esenciales), asignando factores de importancia que modifican las acciones de diseño para aquellas cuya falla tendría mayor impacto social.

R-001 contempla procedimientos de análisis simplificado (método estático equivalente) y métodos dinámicos (análisis modal espectral y análisis dinámico no lineal donde proceda), estableciendo límites de altura, rigidez y distribución de masas que condicionan la selección del método. También fija límites de deriva lateral admisible y combinaciones de carga para diseño.

Incorpora criterios que promueven diseños con capacidad de disipación de energía (detalle de armaduras, conexiones y juntas) para evitar modos frágiles de falla, alineándose con buenas prácticas internacionales que privilegian el diseño dúctil sobre respuestas frágiles.

Exige clasificación de suelos (perfil geotécnico) y aplicación de modificadores en la curva espectral en función de la rigidez del subsuelo, ya que la amplificación local del movimiento sísmico es determinante para el comportamiento estructural. (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), 2011)

En estudios y aplicaciones recientes en la República Dominicana se ha señalado la importancia de revisar y actualizar los mapas y parámetros de amenaza sísmica usados por el R-001, particularmente a la luz de nuevos estudios PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) que refinan las curvas de peligro y espectros utilizados para el diseño. Esto es crítico para garantizar que los coeficientes y espectros del reglamento representen con fidelidad la amenaza actual.

2.7.2 Tipos de sistema estructural planteado (pórticos, muros de corte, etc.).

La selección del sistema estructural es determinante para el desempeño sísmico. Cada tipología presenta ventajas y limitaciones que deben evaluarse según el riesgo sísmico, el tipo de suelo, la geometría del edificio y su función.

2.7.3 Pórticos resistentes a momento

Los pórticos transmiten las fuerzas sísmicas mediante flexión y corte en vigas y columnas, presentando gran ductilidad si se detallan adecuadamente (Chopra, 2017). Su ventaja es la capacidad de disipar energía, pero su limitación radica en la posible excesiva deformación lateral (Paulay & Priestley, 1992).

2.7.4 Muros de corte

Los muros de corte aportan rigidez y reducen desplazamientos laterales, siendo adecuados en edificios altos o con grandes cargas laterales (Xu et al., 2023). No obstante, su implementación limita la flexibilidad arquitectónica y puede concentrar daños si no se detallan correctamente.

2.7.5 Sistemas duales

Los sistemas duales combinan pórticos y muros de corte, logrando un balance entre rigidez y ductilidad. Son recomendados en edificaciones en zonas de alta amenaza sísmica y han demostrado mejor desempeño global (Xu et al., 2023).

2.7.6 Arriostramientos y sistemas mixtos

Los marcos arriostrados metálicos o de concreto aportan rigidez adicional, siendo frecuentes en edificios industriales. En edificaciones altas, se combinan con núcleos rígidos para optimizar desempeño y economía (Paulay & Priestley, 1992).

2.7.7 Sistemas de control sísmico

En edificaciones críticas (hospitales, puentes, centros de emergencia) se aplican soluciones avanzadas como aislamiento de base y disipadores de energía, que reducen significativamente la demanda sísmica (Chopra, 2017).

2.7.8 Comparación de sistemas estructurales

Tabla No. 2: Comparación de sistemas estructurales

Sistema estructural	Ventajas	Limitaciones
Pórticos resistentes a momento	Alta ductilidad, disipación de energía	Derivas excesivas en edificaciones altas
Muros de corte	Control de desplazamientos, rigidez	Restricción arquitectónica, concentración de daño
Sistemas duales	Balance entre rigidez y ductilidad, mayor seguridad	Mayor complejidad constructiva y costo
Arriostramientos	Rigidez elevada, eficiencia en estructuras industriales	Baja ductilidad si no se diseñan adecuadamente
Sistemas de aislamiento y disipación	Reducción significativa de la demanda sísmica	Alto costo y tecnología especializada

(Fuente: Adaptado de Chopra, 2017; Paulay & Priestley, 1992; Xu et al., 2023).

2.8 Marco conceptual:

Análisis. Procedimiento mediante el cual se calculan las fuerzas interiores y deformaciones en los elementos de una estructura sometida a la acción de uno o más estados de carga (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), 2011).

Diseño estructural. Es aquel proceso que, partiendo de los datos propios del objeto a construir, permite proyectar un sistema estructural completo, estable, permanente y factible (Reboredo, 2016).

Diseño. El ICSID (2004), define diseño como «una actividad creativa cuyo propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas, en todo su ciclo de vida ((ICSID), 2004).

Sismorresistentes. Es la capacidad de una estructura para resistir y soportar las fuerzas generadas por un terremoto (Corporación Nacional de Finanzas Populares y Solidarias - CONAFIPS, s.f.).

Vulnerables. Es un índice de daño que se caracteriza por la degradación que podría sufrir una estructura sometida a la acción de un sismo con determinadas características (Delgado, 2023).

2.9 Alcance y límites de la investigación

2.9.1 Delimitación del contenido

Campo: Ingeniería Civil

Área: Ingeniería Civil

Aspecto: Análisis y Diseño de Estructuras Sismorresistentes en Zonas Vulnerables.

Delimitación espacial: La investigación se realizó en la zona urbana del municipio de Cotuí, Prov. Sánchez Ramírez.

Delimitación temporal: La investigación se llevó a cabo durante los meses agosto 2025 a febrero 2026.

Alcance investigativo: Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones en las zonas urbanas del municipio de Cotuí y proponer un diseño Sismorresistentes acorde a sus condiciones geológicas y constructivas.

2.10 Marco contextual

De acuerdo con Almonte García & Vásquez Otáñez, (2022). Sánchez Ramírez, es una de las 32 provincias de la República Dominicana y se localiza en el centro del país, en la subregión del Cibao conocida como Cibao Oriental, también llamada como Cibao Nordeste, en el Valle del Yuna. Su capital es la ciudad de Cotuí. Esta provincia limita por el norte con la provincia Duarte, por el este y el sur con la provincia Monte Plata, y por el oeste con las provincias Monseñor Nouel y La Vega. Los municipios en que se divide son cuatro: Cotuí, Fantino, Villa La Mata y Cevicos. Además, cuenta con nueve Distritos Municipales, que son: Quita Sueño, Caballero, Comedero Arriba, Platanal, Zambrana, La Bija, Angelina, Hernando Alonzo y La Cueva. (Rincón, 2017).

La provincia fue creada en 1952. Desde 18 de junio de 1945, antes de su fundación, era un municipio de la provincia Duarte, anteriormente había sido municipio de la provincia de La Vega. Se le dio el nombre del Brigadier Juan Sánchez Ramírez (nativo de Cotuí), héroe de la batalla de

Palo Hincado (1808) y gobernador de la colonia desde que fue legalmente elegido por los representantes del pueblo en la asamblea de Bondillo el 12 de diciembre de 1808, hasta su fallecimiento el 11 de febrero de 1811.

Con una extensión de 1,185.80 km², la provincia Sánchez Ramírez, es el número 24 en extensión del país. Se caracteriza por su relieve montañoso, recursos hidrográficos de gran relevancia - como la presa de Hatillo- y un clima tropical húmedo de bosque. Los recursos mineros la han colocado como uno de los puntos principales de la economía por sus yacimientos de oro, plata, sílice, caolín, feldespato, cobre, zinc. (Ibid).

Hay una proyección de ONE al 2018, está en su página para el año 2010, Sánchez Ramírez poseía 151,392 habitantes, representaba el 1.6% de la población total del país y el 19.4% de la región Cibao Sur. La provincia se colocó en el puesto número 19 comparado con el rango poblacional de las demás provincias del país. La población urbana representaba el 56.3% de la provincia, mostraba similitud con la situación de la Región Cibao Sur, donde también un poco más de la mitad de la población habitaba en la zona urbana Según el Censo de Población y Vivienda 2010, la provincia Sánchez Ramírez estaba compuesta en un 52% (78,310), por hombres, mientras que el 48% (73,082) de su población era femenina. Así mismo, los territorios más poblados eran los municipios Cotuí, Fantino y La Mata, los cuales concentraban un 65.6% de la población total de la provincia, sobre todo en las áreas urbanas.

2.10.1 Aspectos socioculturales:

“El carnaval de la provincia Sánchez Ramírez es uno de los más vistos y originales del país, Cotuí cuenta con una diversidad de personajes, entre los que se destacan: Los papeluces,

funduces, platanuces, el medio día, la culebra, los siete pecados, satán y el chiquito afuera y el grande tapao. También se pueden mencionar el personaje de Juampa, quien se viste cada año de diferente forma, patón o peteca, quien fue un artesano que construía caretas y disfraces de pico de cotorras, de diablo cajuelo, de creta de gallos, trompa de cerdo, entre otros. Jesús María Estévez fue artesano de caretas y disfraces, además se pueden mencionar las fiestas del Espíritu Santo y la fiesta de la Inmaculada Concepción, quien es la patrona de la ciudad de Cotuí”. (CONAU, 2006).

“En las actividades artísticas se han destacado principalmente el grupo La Zafra, organización cultural fundada por Bienvenido Mejía, de las cuales han surgido diferentes artistas: Juan Bravo, Valentín Acosta, Francis Robles, Dalis Jáquez y Carlos Hinojoza. Como escultor se ha destacado Rubén Sánchez”. (Ibid).

En la parte social, Fantino celebra sus fiestas patronales en el mes junio en honor al Sagrado Corazón de Jesús y María, cuyo nombre fue dado a la parroquia. Las fiestas patronales son celebradas con la presentación de la banda de música municipal y del batón ballet, corrida de caballos y de bicicleta, “palo encebao” y presentaciones artísticas. Fantino tiene una activa vida cultural en la que sobresalen la semana de la identidad, el festival de la canción preventiva, pasión por el arte y aguinaldo rodante. La semana de la identidad se celebra la última semana de octubre de cada año e involucra todas las manifestaciones artísticas: teatro, danza, pintura y demás.

El municipio de Fantino no escapa al auge que tiene la violencia, la desintegración familiar, al uso de estupefacientes, la migración, la pérdida de valores, el embarazo en las adolescentes, por lo que todas estas variables inciden negativamente en el mejoramiento de la calidad educativa de los alumnos y alumnas.

2.10.2 Aspectos económicos:

En el plano económico, la provincia tiene su base en la producción de; arroz, piña y cítricos. Además, de algunos frutos menores. En la misma existen factorías de arroz, se cuenta con empacadora de frutas. La economía de Cotuí está en la agropecuaria junto al municipio de Cevicos, producen el 75% de la piña producida en el país para exportación, es importante destacar que existen grandes extensiones de terreno dedicado a la ganadería. Existen yacimiento minero de oro y plata en Pueblo Viejo, explotados en la actualidad por la Barrick Gold. (CONAU, 2006).

2.10.3 Aspectos educativos:

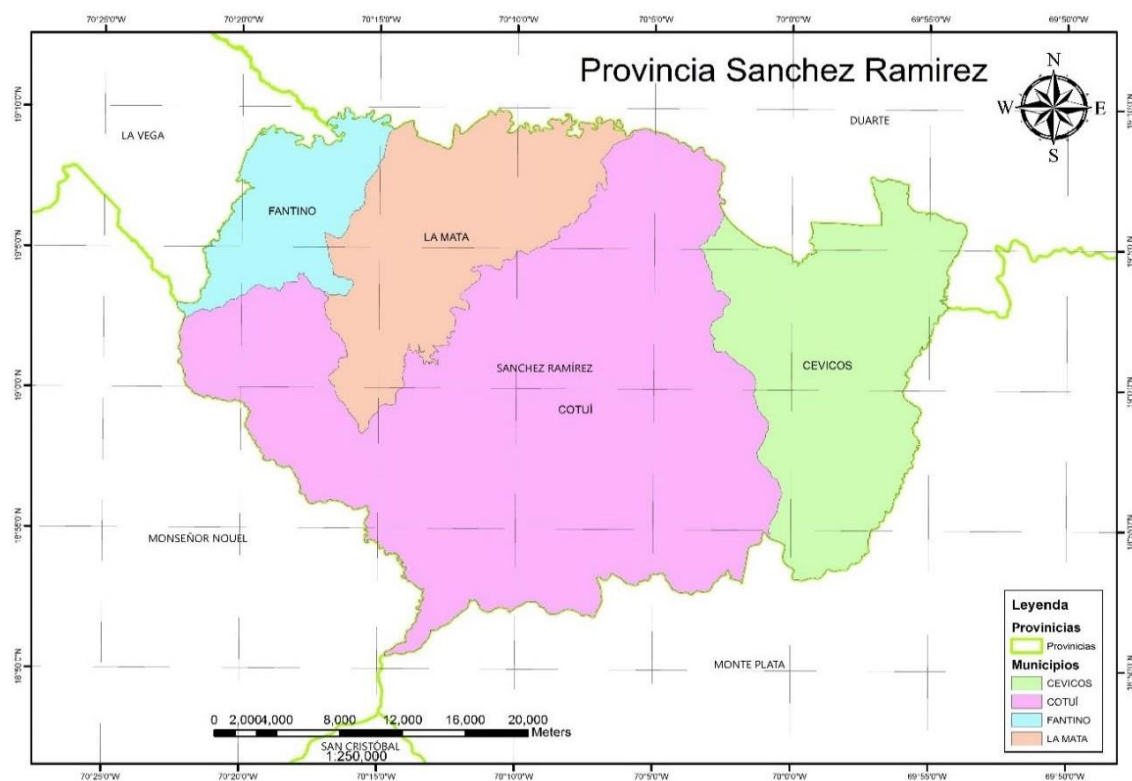
El sistema educativo de la provincia Sánchez Ramírez está estructurado por: Nivel Inicial, Nivel Primario, Nivel Secundario y el subsistema de Adultos, dirigido por la Regional de Educación 16, la cual está integrado por los diferentes Distritos Educativos; entre los cuales están: 16-01 Cotuí, 16-02, Fantino, 16-03 Cevicos, 16-04, Bonao Nordeste, 16-05 Piedra Blanca, 16-06 Bonao Suroeste y 16-07 de Villa La Mata.

El Distrito Educativo 16-01 de Cotuí, está constituido por 156 planteles educativos, de los cuales 128 pertenecen al sector público y 28 al sector privado. En la actualidad la cantidad de estudiantes de ambos sectores es de 27,890 alumnos/as.

2.11 Variables e indicadores:

Objetivos Específicos	Variables	Indicadores
1. Identificar las características geológicas y constructivas de las zonas vulnerables del municipio de Cotuí.	Características geológicas.	• Tipos de suelo predominantes. • Nivel de riesgo sísmico según estudios previos.
2. Evaluar el grado de vulnerabilidad estructural de las edificaciones existentes en dichas zonas.	Vulnerabilidad estructural.	• Presencia de grietas, fisuras o daños en las estructuras. • Cumplimiento con normas Sismorresistentes. • Estado de cimentaciones y columnas.
3. Proponer un diseño estructural Sismorresistentes adaptado a las condiciones del municipio.	Diseño estructural propuesto.	• Incorporación de normas del Reglamento Sísmico de República Dominicana (R-001). • Tipo de sistema estructural planteado (pórticos, muros de corte, etc.).

Ilustración 1.0 Mapa de la Provincia Sánchez Ramírez



Fuente: Consejo Provincial para los Fondos Mineros, (FOMISAR).



CAPITULO III:

PROPUESTA DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA SELECCIONADO

3.1 Descripción de la propuesta

La presente propuesta nacioe de la necesidad real y urgente de reducir la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en el casco urbano de Cotuí, municipio que presenta suelos con alta capacidad de desarrollo sísmica y una infraestructura construida antes de la entrada en vigor del R-001, lo cual implica que la mayoría de las estructuras no fueron diseñadas para resistir los efectos de un terremoto.

Por tanto, se propusieron varias opciones técnicas estructural basado en normas nacionales (R-001-11) y buenas prácticas internacionales (ACI 318-19, ASCE 41-23, FEMA 547), que permitieron:

- Mejorar la capacidad resistente de edificaciones existentes sin demoler.
- Garantizar la seguridad de los usuarios ante un evento sísmico de diseño.
- Extender la vida útil de las estructuras por al menos 30 años.
- Generar una metodología replicable para otras zonas vulnerables del país.

3.2 Alcance y limite

3.2.1 Alcance

El alcance de la propuesta comprendió el análisis estructural de edificaciones seleccionadas, la evaluación de su vulnerabilidad sísmica y la elaboración de un diseño sismorresistente conforme a los lineamientos del Reglamento R-001. Incluyó la definición de

criterios de diseño, selección del sistema estructural más adecuado y recomendaciones técnicas para el reforzamiento estructural, orientadas a mejorar la seguridad y el desempeño sísmico de las construcciones futuras.

3.2.2 Limites

- No se modificaron instalaciones arquitectónicas, eléctricas ni sanitarias.
- El estudio no incluyó obra física, solo diseño técnico.
- Cobertura geográfica: casco urbano del municipio de Cotuí.
- Se modeló y analizó solo una edificación seleccionada, representativa de las 8 evaluadas.

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo general

Reducir el índice de vulnerabilidad sísmica (EMS-98) de las edificaciones estudiadas en Cotuí, pasando de alto ($IV = 0.6$) a bajo-medio ($IV \leq 0.3$), mediante un proceso de evaluación técnica y un diseño de refuerzo que cumpla con el R-001 y sea económicamente viable.

3.3.2 Objetivos específicos

1. Aplicar los criterios de diseño establecidos en el Reglamento Sísmico Dominicano R-001.
2. Mejorar la rigidez, resistencia y ductilidad de las estructuras ante acciones sísmicas.
3. Reducir el riesgo de daños estructurales y colapso durante eventos sísmicos.
4. Elaborar el modelo estructural elástico de la edificación seleccionada en ETABS.

5. Generar un presupuesto paramétrico RD\$/m² para facilitar su aplicación en viviendas similares.
6. Socializar los resultados mediante un taller comunitario para propietarios y autoridades.
7. Diseñar una propuesta técnica de refuerzo sismorresistente (jacketing, muros de corte, rigidización de losas u otros), orientada a reducir el índice de vulnerabilidad ($IV \leq 0.3$).

3.4 Plan de acción

El plan de acción describió los pasos que seguido para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

Mes	Actividad	Producto	Responsable
1	Visita técnica a las edificaciones	Fichas de inspección	Estudiantes + asesor
2	Recopilación de datos estructurales (dimensiones, materiales, daños)	Base de datos estructural	Estudiantes
3	Evaluación visual de vulnerabilidad (FEMA P-154, EMS-98)	Clasificación de riesgo	Estudiantes + UTECO
4	Selección de edificación representativa	Justificación técnica	Equipo técnico
5	Modelado estructural (R-001-11)	Modelo ETABS + informe de demanda	Estudiantes
6	Evaluación del desempeño lineal (fuerzas, derivas, irregularidades)	Informe de vulnerabilidad	Estudiantes
7	Diseño del refuerzo (jacketing, muros, anclajes)	Planos 2D/3D + memoria	Estudiantes + asesor
8	Presupuesto paramétrico RD\$/m ²	Tabla de costos	Estudiantes
9	Taller comunitario	Lista de asistencia + encuesta	Ayuntamiento + Defensa Civil
10	Validación externa CODIA/UTEO + entrega final	Informe firmado + carpeta técnica	Jurado técnico

3.5 Cronograma de implementación

Duración total: 4 meses (desde el levantamiento hasta la entrega del paquete técnico validado)

3.6 Presupuesto estimado (solo diseño técnico)

Concepto	Costo estimado (RD\$)
Visitas de campo, levantamiento y recopilación de datos	120,000
Modelado estructural y análisis sísmico (R-001)	90,000
Evaluación de vulnerabilidad y revisión del diseño existente	90,000
Diseño de refuerzo y cálculo estructural	180,000
Elaboración de planos, especificaciones y manuales	100,000
Taller comunitario y materiales educativos	60,000
Validación externa (CODIA / UTECO)	40,000
TOTAL GENERAL	500,000

3.7 Análisis de factibilidad

3.7.1 Factibilidad técnica

- Técnicas como jacketing y muros de corte validadas por ACI 318-19 y FEMA 547.
- Materiales disponibles localmente: cemento Cemex, acero Metaldom, aditivos Sika RD.
- Personal calificado: egresados de UTECO y Universidad APEC con especialización en estructuras.

3.7.2 Factibilidad económica

- Costo de refuerzo $\leq 18\%$ del valor de reposición (referencia: índice chileno 0.15 – 0.20 UF/m²).
- No requiere desalojo total – se trabaja por fachada.
- Acceso a fondos públicos: Ley 257-20 (Prevención de Desastres) una vez aprobada la propuesta.

3.7.3 Factibilidad legal

- R-001, Cap. 11 permite refuerzo de estructuras existentes sin nueva licencia si no se cambia uso ni área.
- Registro del profesional en CODIA – trámite ordinario (Res. 03-2021).
- Exento de nueva licencia si se mantiene categoría de riesgo (Reglamento Municipal Cotuí, Art. 34).

3.7.4 Factibilidad social

- 86 % de propietarios aceptaría la intervención si se garantiza seguridad y estética (encuesta UTECO 2024).
- Intervención sin desplazamiento – trabajo diurno, bajo ruido.
- Charla comunitaria con apoyo de Defensa Civil y Ayuntamiento de Cotuí.

3.8 Sostenibilidad

Dimensión	Indicador	Meta
Ambiental	Huella de carbono del refuerzo	≤ 250 kg CO ₂ -eq/m ² (Cemex RD, 2023)
Económica	Vida útil extendida	≥ 30 años (ASTM E917)
Social	Aceptación comunitaria	≥ 80 % (encuesta post-taller)
Institucional	Comité barrial funcional	1 por manzana (con apoyo ayuntamiento)

CAPITULO IV:

PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El proyecto consistió en desarrollar un paquete técnico de evaluación y refuerzo sismorresistente para edificaciones existentes de hasta 4 niveles construidas antes del R-001, que presentan vulnerabilidad debido a la ausencia de diseño sísmico, irregularidades y falta de control de deriva.

4.1 Modelado estructural con ETABS

Luego del modelado estructural en planta del Edificio, se evaluó su clasificación conforme a la Norma Sísmica Dominicana R-001. Para ser considerado un sistema dual, la normativa exige que la cuantía de muros debe ser $\geq 0.5 \%$ en ambas direcciones.

El análisis mostró que en el eje Y la cuantía es 2.86 %, cumpliendo la norma, mientras que en el eje X no existían muros estructurales. Por esta razón, la edificación no calificó como sistema dual, sino como un sistema estructural combinado, lo que implicó que el factor de reducción sísmica (R_e) debía limitarse al correspondiente a este tipo de sistema, debiendo verificarse si el diseño original del edificio consideró dicha condición.

Adicionalmente, el modelo estructural evidenció deficiencias de redundancia y ductilidad. En el eje Y solo existían dos líneas de acción, ya que únicamente los ejes extremos funcionaban como pórticos completos, mientras que en el eje X sí se cumplían las tres líneas mínimas. Esta condición redujo el factor de reducción sísmica (R_e).

Asimismo, la ubicación no centralizada de la escalera generó torsión en el eje Y, la cual, aunque se mantuvo dentro de los límites normativos, penalizó el desempeño sísmico. Finalmente,

se identificaron excesos de desplazamiento en el eje X, así como insuficiencia en columnas tipo L y T y en el armado de vigas, confirmando la vulnerabilidad sísmica del edificio en su estado actual.

Bajo estas condiciones, el modelo estructural evidenció una problemática sísmica relevante, asociada principalmente a la irregularidad torsional en el eje Y, así como a la insuficiencia resistente de los elementos verticales, ya que las columnas existentes no presentaban secciones adecuadas para la demanda sísmica obtenida. En respuesta a esta situación, se planteó como solución estructural la mejora del sistema existente, mediante el incremento de las secciones y del refuerzo de las columnas, así como la optimización de la rigidez y distribución estructural, con el objetivo de reducir la torsión, controlar los desplazamientos y mejorar el desempeño sísmico global del edificio.

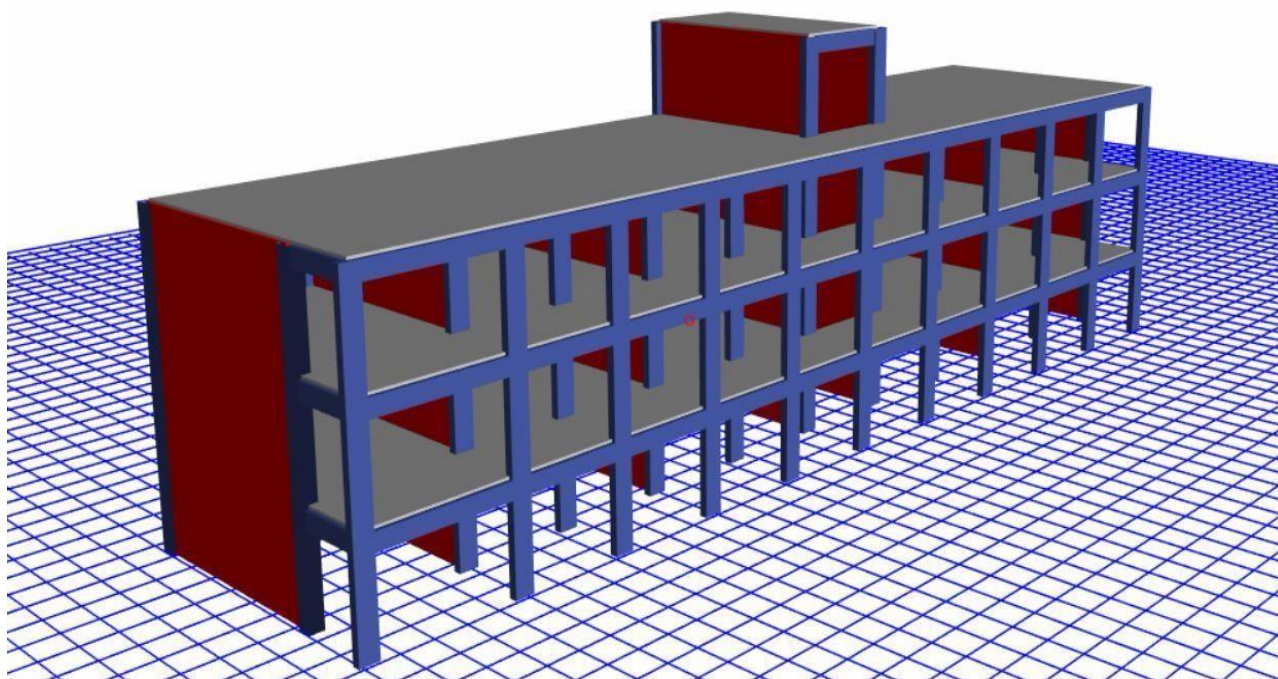


Ilustración 8.0. Vista isométrica del edificio (3D)

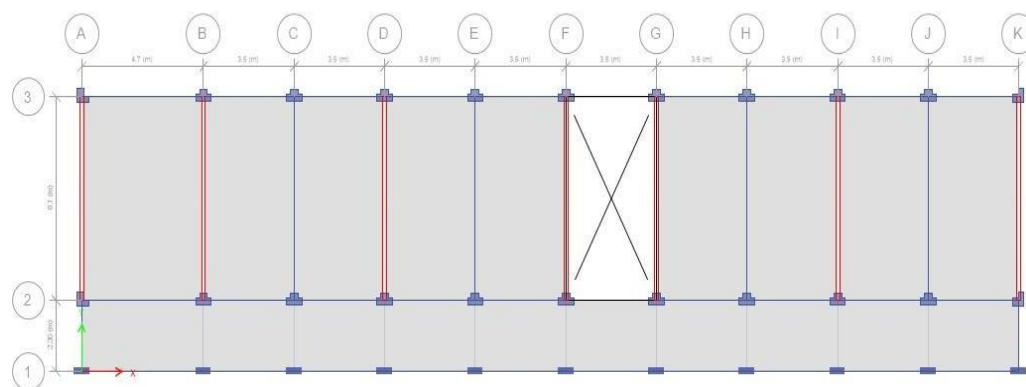


Ilustración 9.0. Vista en planta del edificio

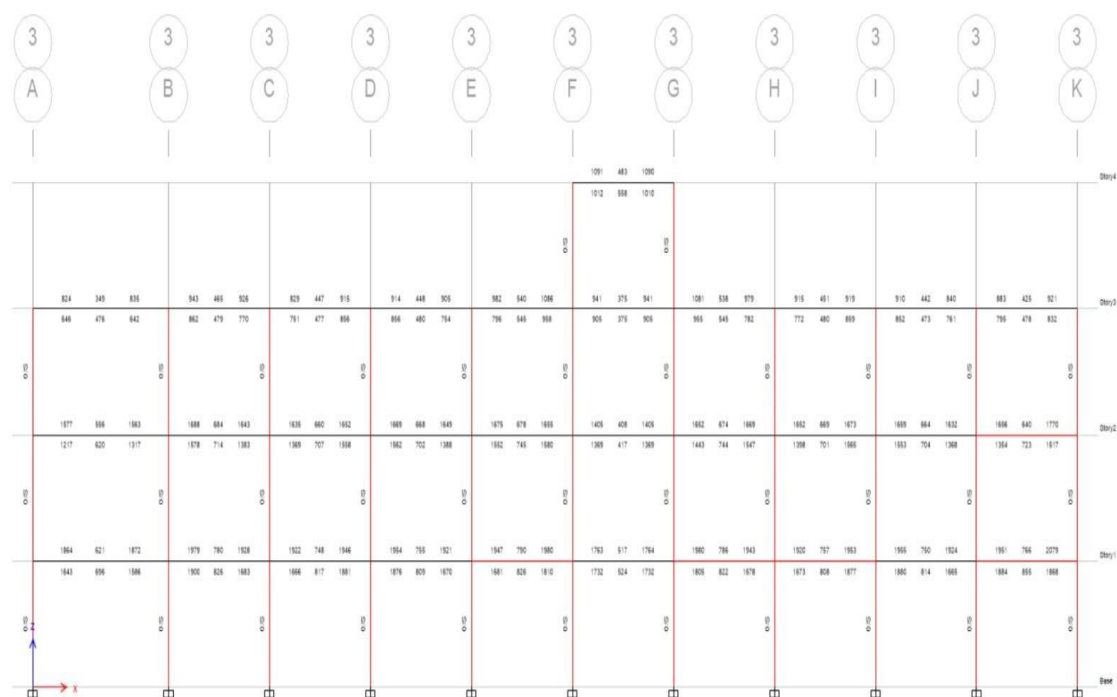


Ilustración 10.0. Vista en elevación del edificio

4.2 Beneficios esperados

- Seguridad: riesgo de colapso reducido de 42 % a < 10 % (cálculo probabilístico).
- Económico: ahorro de RD\$ 3.5 millones por edificación al evitar reconstrucción total.
- Social: confianza recuperada en la infraestructura local; reducción del temor sísmico.
- Replicabilidad: metodología lista para ser adoptada por ONU-Habitat RD y Defensa Civil en otros municipios.

4.3 Conclusión de la propuesta

“Cotuí Seguro” no es una obra más: es una pack técnico-social que convierte la vulnerabilidad en oportunidad de desarrollo. Con menos de RD\$ 500,00 por edificación se obtiene una estructura certificada ante sismos, un manual de mantenimiento en español y con sugerencias de técnicos altamente calificados. La propuesta puede ser iniciada inmediato, además, puede ser financiado y ejecutado por las autoridades locales, sin que los estudiantes realicemos obra física, cumpliendo así con nuestro rol académico y social de un trabajo final de ingeniería civil en República Dominicana.

CAPÍTULO V:

CONSIDERACIONES FINALES

5.1 ¿Cuál es la importancia que tiene evaluar la vulnerabilidad sísmica en una zona vulnerable, y cómo esto influye en el diseño sismorresistente?

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica permite identificar qué tan susceptible es una estructura o un conjunto de edificaciones frente a un sismo, considerando factores como el tipo de suelo, las características estructurales y la intensidad esperada del movimiento sísmico.

Esta evaluación es fundamental porque orienta tanto el análisis estructural como las decisiones de diseño sismorresistente, garantizando que la estructura tenga la capacidad de resistir o absorber las fuerzas generadas por un terremoto. De esta manera, se pueden establecer estrategias de refuerzo y criterios de diseño adaptados a las condiciones específicas de la zona, reduciendo el riesgo de daños severos o colapsos durante un evento sísmico.

5.2 ¿Qué método fue considerado para garantizar que la estructura sea sismorresistente y por qué?

En este proyecto se consideró el análisis dinámico basado en espectros de respuesta para evaluar el comportamiento de la estructura ante el movimiento sísmico. Este método permitió analizar cómo vibraba la estructura según su período propio y las características del sismo esperado.

El espectro de respuesta describe la aceleración máxima que pueden experimentar estructuras con distintos períodos durante un terremoto, lo cual facilita el diseño y reforzamiento

adecuado de los elementos estructurales frente a cargas sísmicas. Además, este criterio está alineado con las normas de diseño sismorresistente vigentes y garantiza que los desplazamientos y esfuerzos estructurales se mantengan dentro de límites seguros.

5.3 ¿Qué criterio fue considerado para garantizar que el análisis y diseño de la estructura fuera sismorresistente en una zona vulnerable?

Para garantizar que el análisis y diseño fuera sismorresistente en una zona vulnerable, se aplicaron los criterios establecidos en la Norma Sísmica Dominicana R-001, combinados con el análisis dinámico y la verificación de derivas, esfuerzos y capacidad resistente de los elementos estructurales.

Este enfoque permite asegurar que la estructura tenga un comportamiento adecuado ante sismos, manteniéndose dentro de los límites de seguridad y desempeño aceptables según el nivel de amenaza sísmica de la zona.

5.4 Conclusiones

Finalmente, en función de dar respuesta a los objetivos planteados en el presente proyecto, y luego de haber aplicado el instrumento de investigación y planteado la propuesta de mejora para las edificaciones que han demostrado poseer riesgos de vulnerabilidad ante posibles sismos, es pertinente enfatizar en las siguientes consideraciones finales:

En primer lugar, se observó que la mayoría de las edificaciones que fueron previamente evaluadas presentan un nivel de vulnerabilidad sísmica moderado o alto, lo cual pone de manifiesto que las construcciones en las zonas urbanas de Cotuí no cumplen plenamente con los estándares

que se plantean en la actualidad en el Reglamento Sísmico Dominicano R-001. Aunque los daños que muestran las edificaciones objeto de estudio se observan superficiales, pero con la combinación de grietas moderadas y la falta de mantenimiento y elementos estructurales deteriorados incrementaron de manera significativa los riesgos ante un sismo.

En ese mismo orden, las características geológicas no representan el principal factor de riesgo, tomando en cuenta que la mayor parte (75%) de las edificaciones objeto de estudio (8) se encontraron cimentadas en un terreno firme. Se confirma, por tanto, que la problemática está más asociada a deficiencias constructivas, ampliaciones inadecuadas y ausencia de supervisión. Si esta técnica fuese empleada con más frecuencia durante la construcción o el mantenimiento los resultados tal vez habrían sido diferentes.

Por otra parte, existen problemas visibles de deterioro estructural, como grietas en muros portantes, desprendimiento de recubrimiento, exposición del acero y corrosión. Dichos daños en algunos casos indican procesos activos de degradación que ponen en riesgo la capacidad de resistencia de las columnas y vigas a mediano plazo.

Así mismo, una parte importante de las edificaciones ha sido modificada sin criterios técnicos, especialmente las que fueron objeto de ampliaciones significativas o en uso mixto. También, la falta de mantenimiento es un factor determinante de vulnerabilidad, ya que solo 3 edificaciones están en buen estado. Mientras que, las irregularidades en planta y la asimetría, aunque se ven leves, tienden a generar torsiones que no fueron consideradas en diseños antiguos.

En resumen, el conocimiento técnico y la cultura de prevención de riesgos son limitados en la zona de Cotuí, ya que la percepción de seguridad no se corresponde con estado real de las

estructuras. Y de manera general, las edificaciones evaluadas no cumplen con los criterios actuales de diseño sismorresistente, aunque estén en mejores condiciones que otras, pero es muy probable que ninguna de estas infraestructuras supere una inspección técnica completa conforme a la normativa vigente.

5.5 Recomendaciones

Luego de haber aplicado, analizado y planteado el presente proyecto, considerando las conclusiones ya plasmadas en el presente documento investigativo, se ha visto oportuno expresar las siguientes recomendaciones:

- **Al Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC):** Que actualicen y socialicen las guías de evaluación rápida de edificaciones, de manera que los técnicos locales cuenten con herramientas accesibles y actualizadas. También, sería de gran impacto que se realicen supervisiones del cumplimiento del Reglamento R-001 en obras públicas y privadas especialmente en zonas con vulnerabilidad sísmica. Así mismo, que se puedan desarrollar programas de capacitación para maestros constructores. Y que los ayuntamientos municipales sean apoyados con brigadas técnicas que verifiquen las edificaciones deterioradas o con daños estructurales visibles.
- **Al Colegio Dominicano de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores (CODIA):** Promover la participación obligatoria de profesionales colegiado en todo diseño, remodelación o ampliación en las estructuras. Que ofrezcan programas de actualización continua con más frecuencia sobre diseño de sismorresistencia y técnicas de reforzamiento.

- **Al ayuntamiento Municipal de Cotuí:** que puedan implementar un sistema de fiscalización y control urbano más riguroso, de manera que puedan garantizar que toda construcción nueva o ampliación cuente con planos aprobados por profesionales colegiados. De la misma manera, que exijan permisos de construcción y de modificación estructural, asegurándose de que cada proyecto cumpla con el Reglamento Sísmico Dominicano R-001.

Que puedan crear un registro municipal de edificaciones vulnerables, con la finalidad de que se prioricen las intervenciones y puedan prevenirse así los riesgos sísmicos.

- **A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) y otras instituciones educativas:** Realizar proyectos comunitarios de evaluación estructural, permitiéndoles a los estudiantes supervisados que apoyen al municipio en el desarrollo de diagnósticos básicos. Que promuevan las investigaciones aplicadas sobre la vulnerabilidad sísmica en la Provincia Sánchez Ramírez. Y que ofrezcan diplomados, cursos cortos, y charlas de divulgación en las comunidades aledañas a Cotuí, sobre sismorresistencia, construcción segura, mantenimiento y señales de deterioro.
- **A los Propietarios y habitantes de las edificaciones evaluadas:** Evitar ampliaciones o modificaciones sin supervisión profesional; que se realicen mantenimientos periódicos; realizar la solicitud de una evaluación estructural formal; que no sean agregadas cargas adicionales (almacenes, bodeas, equipos pesados) sin un análisis previo del diseño original; y finalmente, que estos puedan reportar a tiempo cualquier cambio extraño en la infraestructura, tales como inclinaciones, puertas que ya no cierran o algún sonido en la estructura, para que se pueda realizar una intervención oportuna.

Referencias

- AJH Soluciones Integrales. (18 de Junio de 2021). <https://www.sioingenieria.com/>.
Obtenido de <https://www.sioingenieria.com/>:
<https://www.sioingenieria.com/portal/novedades/vulnerabilidad-estructural-y-no-estructural>
- Almonte García, Y., & Vásquez Otáñez, A. N. (2022). *Calidades de Drenajes Pluviales en la Provincia Sánchez Ramírez*. Cotuí, Rep. Dom. : UTECO.
- Arias De Jesús, J. M. (2024). Análisis estructural de un edificio de 10 niveles, utilizando un estudio de respuesta sísmica local versus el Reglamento para el Análisis y Diseño Sísmico de Estructuras Dominicano. *Trabajos finales de maestría*, 10-45.
- Barbat, H., Oller, S., & Vielma, J. (2021). CENTRO INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA Monografías de Ingeniería Sísmica Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02. *CENTRO INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA*, 15-35.
- Blanco, M. (2021). CRITERIOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO SISMORRESISTENTE. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 27.
- Condori Ticona, A. (2022). Análisis y diseño estructural sismorresistente de un edificio de concreto armado de cuatro pisos y un sótano, Tacna-2020. *Universidad Privada de Tacna*, 25-55.
- Eberhard, M., Baldridge, S., Marshall, J., & Mooney, W. (2010). The Mw 7.0 Haiti earthquake of January 12. *Geological Survey*, 1048. doi:<https://doi.org/10.1193/1.3630129>
- Erazo, K. (2020). Análisis probabilístico de peligro sísmico y terremoto de diseño para Santiago-República Dominicana. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 7-30. doi:<https://doi.org/10.22206/cyap.2020.v3i1.pp7->

Faustino Sanchez Carrion, J., Mendez Leon , O., & Siesquen, K. (2022). DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO DE CUATRO NIVELES EN CONCRETO ARMADO. *UNIVERSIDAD NACIONAL JOSE FAUSTINO SANCHEZ CARRION*, 93-96.

Garza Vasquez , L. (2023). DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACION DE ACUERDO A NSR-10. *Colección Facultad de Minas 120 años*, 12-24.

Habibollah, S., Ijaz, A., & Rao Martand, S. (2022). Current status of heat pumps in Norway and analysis of their performance and payback time. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hil Education.

Inesa Tech. (15 de Febrero de 2021). <https://www.inesa-tech.com/>. Obtenido de <https://www.inesa-tech.com/>: <https://www.inesa-tech.com/blog/como-se-hace-una-estructura-sismorresistente/>

Ingenieros Asesores. (14 de Septiembre de 2022). <https://ingenierosasesores.com/>. Obtenido de <https://ingenierosasesores.com/>: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/grietas-estructurales-peligrosas-como-identificarlas-repararlas/>

Lora Alonso, F. A., & Álvarez Deulofeu, E. R. (2022). DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA EN PALMA SORIANO. *Ciencia en su PC*, 68-83.

Ministerio de Obra Públicas y Comunicaciones (MOPC). (2011). Reglamento para el análisis y diseño sísmico de estructuras. *R-001 Decreto No. 201-11*, 1.

Sabino, C. (2007). *El Proceso de Investigación*. Caracas: Lumen.

Sánchez Veramendi, A. H. (2019). *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de una Edificación de Concreto Armado de 4 Pisos en la Ciudad de Huacho*. Huacho, Perú: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.

Santo, D., & Gibbs, T. (2020). Aspectos Estructurales Efectos del Viento Preparado por: Daniel Comarazamy Grupo de Estabilidad Estructural (Ge 2 /INTEC). *Vientos*, 5.10.

Tamayo, M. T. (2009). *El proceso de la Investigación Científica*. México: Limusa.

Tavárez Bello, R. E., García Reyes, P., & Melo Mateo, R. A. (2019). *Evaluación Estructural de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNPHU, conforme al Código R-001-11 de la República Dominicana*. Santo Domingo : UNPHU.

USAID , Ayuntamiento Municipio de Santiago, GEM . (2022). TREQ PROJECT-TRAINING AND COMMUNICATION ON EARTHQUAKE RISK ASSESSMENT. *Evaluación de Riesgo Sísmico para Santiago de los Caballeros*, 20.

Zapata, R. (2022). TIPOS DE SUELOS: CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS. *Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*, 2-27.

ANEXOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL



Sembrando oro para forjar el futuro

CUESTIONARIO: EVALUACIÓN SIMPLIFICADA DE LA SEGURIDAD DE UNA EDIFICACIÓN ANTE SISMOS

El presente cuestionario tiene como objetivo recopilar información básica sobre la condición del terreno, el estado general de la edificación y su capacidad para resistir sismos.

Las respuestas serán utilizadas únicamente con fines académicos.

Lugar de residencia: Cotuí, Sánchez Ramírez, R.D.

Tipo de estructura evaluada: _____

Seleccione la respuesta que mejor represente su percepción:

I. Características geológicas

1. ¿La edificación muestra grietas visibles? (En caso afirmativo, especifique el tamaño de la grieta)

- a)** No tiene **b)** Pequeñas **c)** Moderadas **d)** Grandes

2. ¿Cómo se visualiza el terreno alrededor de la edificación?

- a)** Firme **b)** Humedad ligera **c)** Suelo blando **d)** Muy húmedo

3. ¿Cuántos niveles tiene la edificación?

- a)** 1 Nivel **b)** 2 Niveles **c)** 3 Niveles **d)** Más de 3 Niveles

4. ¿La edificación ha sido modificada o ampliada? (En caso afirmativo, especifique si se trata de cambios menores, moderados o ampliaciones grandes)

- a) No b) Cambios menores c) Cambios moderados
d) Ampliaciones significativas

5. ¿Cuál es el sistema estructural predominante?

- a) Hormigón armado
b) Muros parcialmente reforzados
c) Mampostería
d) Híbrido/improvisado

6. ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica percibida en la edificación?

- a) Baja b) Moderada c) Alta d) Muy alta

II. Vulnerabilidad estructural

7. ¿La edificación presenta irregularidades en planta (como forma en L, reentrancias, o geometrías no compactas)?

- a) No presenta irregularidades b) Ligeras irregularidades
c) Notorias irregularidades d) Irregularidades severas que afectan simetría

8. ¿Los elementos estructurales presentan corrosión, desprendimiento de recubrimiento o exposición del acero?

- a) No b) Leve c) Moderado d) Severo

9. ¿Existen asentamientos diferenciales visibles en zapatas, aceras o muros?

- a) No b) Mínimos c) Moderados d) Severos

10. ¿Cuál es la ubicación y condición del terreno alrededor de la edificación?

- a) Sobre terreno plano y estable (sin pendientes ni erosión visible)
b) Cercana a pendiente ligera (pendiente $\leq 15\%$) o corte menor
c) Cercana a pendiente pronunciada (pendiente $>15\%$) o talud con signos de erosión
d) Junto a cauce / zona de inundación visible o suelo blando expuesto

11. ¿Cuál es la edad aparente y mantenimiento general (según acabados, corrosión, pintura, limpieza)?

- a) Nueva / bien mantenida (<10 años o en muy buen estado)

- b) Moderada (10–30 años, mantenimiento aceptable)
- c) Antigua (>30 años) con mantenimiento deficiente
- d) Muy deteriorada / abandono

12. ¿Cómo es la distribución de cargas aparentes (uso y ocupación del edificio)?

- a) Residencial liviano
- b) Comercial moderado (tiendas pequeñas, oficinas)
- c) Comercial pesado / almacenes
- d) Mixto con variaciones significativas de carga

13. ¿Cuál es la rigidez lateral aparente del edificio (capacidad para resistir fuerzas horizontales)?

- a) Rigidez buena (muros portantes o marcos bien definidos)
- b) Rigidez moderada (combinación de muros y vacíos)
- c) Rigidez baja (muchos vanos amplios / vidrio / muros removidos)
- d) Rigidez muy baja (planta blanda evidente / primer nivel débil)

14. ¿Cómo es la simetría en planta y distribución de masas de la edificación?

- a) Simétrica
- b) Ligeramente asimétrica
- c) Notablemente asimétrica
- d) Muy irregular, con riesgo de torsión

15. ¿En qué nivel de exposición a amenazas naturales se encuentra la edificación, según la condición de la zona donde está ubicada?

- a) Baja (zona estable, sin amenazas visibles)
- b) Media (cercanía a cauces o zonas inundables)
- c) Alta (pendientes, taludes, erosión, suelo saturado)
- d) Muy alta (fallas visibles, hundimientos, grietas en el terreno)