UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y EL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICUALR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL EDIFICIO EXTENSIÓN UNIVERSITARIA BLOQUE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR EN SAN MIGUEL.

AUTORES:

Edison Bladimir Tamami Chimborazo

Anthony David Veloz Solis

TUTOR

Ing. Gloria Piedad Iñiguez

GUARANDA-ECUADOR

2025

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL EDIFICIO EXTENSIÓN UNIVERSITARIA BLOQUE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR EN SAN MIGUEL

AGRADECIMIENTO

A ti, mi Divino Dios, elevo mi gratitud por concederme la dicha de una familia tan excepcional, por iluminar mi camino y por permitirme llegar hasta este momento con fe, salud y esperanza.

A mis queridos padres, expreso mi más profundo y sincero agradecimiento. Su amor incondicional, su guía sabia y su constancia inquebrantable han sido la base sobre la cual he construido cada uno de mis logros. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, por sostenerme en mis momentos de duda y por brindarme siempre la fortaleza necesaria para seguir adelante. A mis queridas hermanas, gracias por su cariño, por su comprensión y por caminar a mi lado en cada etapa de mi vida. Tenerlas como hermanas es una de mis mayores bendiciones.

Edison Bladimir Tamami Chimborazo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a Dios, quien ha sido mi guía, mi fortaleza y mi sostén en cada etapa de este camino. Sin Su luz y Su compañía, nada de esto habría sido posible; A mis padres, gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso y por creer en mí incluso cuando yo dudé. Este logro también les pertenece.

A mis hermanas, mis compañeras de vida, agradezco su apoyo incansable, sus palabras, su cariño y su presencia constante; han sido un pilar fundamental en este proceso. A mi hija, mi inspiración, gracias por recordarme cada día el valor del esfuerzo y la perseverancia.

Extiendo mi gratitud a toda mi familia por su comprensión, por cada gesto de ánimo y por acompañarme sin condiciones. Su apoyo ha sido un sostén indispensable en este camino; A mis docentes, les agradezco profundamente su dedicación, la sabiduría compartida y el compromiso demostrado. Gracias por ser más que maestros: verdaderas guías, consejeros y ejemplos a seguir. También quiero agradecer a mis amigos, pocos, pero valiosos, por su amistad sincera, sus palabras oportunas y su apoyo constante.

Anthony David Veloz Solis

DEDICATORIA

Lo dedicamos con gratitud a la Universidad Estatal de Bolívar, una institución que nos recibió con los brazos abiertos y nos proporcionó un ambiente académico propicio para nuestro crecimiento personal y profesional. En sus aulas no solo adquirimos conocimientos, sino que también abrazamos principios y valores que nos han guiado. La UEB ha sido un lugar donde nuestras capacidades florecieron y donde aprendimos la verdadera esencia del compromiso, la responsabilidad y la perseverancia.

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todos los docentes que formaron parte de nuestra formación. Cada uno de ellos, con su dedicación, vocación y sabiduría, dejó una huella imborrable en nuestro camino. Su guía, exigencia y acompañamiento fueron pilares esenciales que nos ayudaron a desarrollar nuestras habilidades y a comprender el verdadero significado de la educación superior.

Un agradecimiento muy especial va dirigido a nuestra tutora, la Ing. Gloria Iñiguez. Su paciencia, orientación y apoyo constante durante la elaboración de este proyecto fueron fundamentales. Su compromiso y calidad humana nos brindaron la fortaleza necesaria para alcanzar la solidez y el rigor académico que este trabajo requiere. Agradecemos profundamente cada consejo, cada observación y cada palabra de aliento que nos ofreció a lo largo de este proceso.

Edison Tamami & Anthony Veloz

CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.

Guaranda, 29 de septiembre de 2025.

El suscrito Ingeniera Gloria Iñiguez, en calidad de **TUTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACION,** de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: **"ANALISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL EDIFICIO EXTENSIÓN UNIVERSITARIA BLOQUE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR EN SAN MIGUEL."** realizado por los señores: **Edison Bladimir Tamami Chimborazo y Anthony David Veloz Solis** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.

ING. Gloria Iñiguez

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **Veloz Solis Anthony David** y **Tamami Chimborazo Edison Bladimir** portadores de la Cédula de Identidad No **0250136710** y **0250314416** en calidad de autor/res y titu l a r / es de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación:
"ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS DEL EDIFICIO EXTENSIÓN UNIVERSITARIA BLOQUE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR EN SAN MIGUEL", modalidad **Proyecto de Investigación**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Anthony David Veloz Solis

Edison Bladimir Tamami Chimborazo

Anthony



Edison



ÍNDICE DE CONTENIDO

TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 1

AGRADECIMIENTO 2

DEDICATORIA 4

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR 5

DERECHOS DE AUTORÍA NOTARIZADA 6

ÍNDICE DE CONTENIDO 7

ÍNDICE DE TABLAS 11

ÍNDICE DE FIGURAS/GRÁFICAS/IMÁGENES 12

RESUMEN 16

ABSTRACT 18

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 19

1.1 Planteamiento del Problema 19

1.1. Formulación del Problema 20

1.2. Preguntas de Investigación 20

1.3. Justificación 21

1.2 Objetivos: General y Específicos 22

1.5.1 Objetivo general 22

1.5.2 Objetivo específico 22

1.3 Variables 23

1.6.1 Variable Independiente 23

1.6.2 Variable Dependiente 23

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 25

2.1 Referencial o Georreferencial 25

Ubicación y Contexto Geográfico 25

Contexto Geológico y Sismo tectónico 25

Clasificación Normativa 26

Justificación del Estudio 26

Antecedentes 26

1.4. CIENTÍFICO 31

2.3.2 Metodologías de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica 34

2.3.4 Hormigón Y Su Comportamiento 40

2.3.4.2 Hormigón Armado (Estructura Principal) 40

2.3.5 Resistencia, Curado Y Patologías 42

2.3.6 Dosificación del hormigón 45

2.3.7 Sismos 47

2.3.9 Propagación de Ondas Sísmicas 51

2.3.11 Escalas de Medición de Terremotos 57

2.3.12 Zonas de Mayor Actividad Sísmica 61

2.3.13 Límites de Placas Tectónicas 62

2.3.14 Elementos de Estudio de los Sismos 63

2.3.15 Consecuencias de los Sismos 64

2.4 Legal 67

2.4.1 Legislación sobre Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador 67

2.4.2 Reglamento al Código Orgánico de Construcción 67

2.4.3 Ley de Gestión de Riesgos. 68

2.4.4 Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE). 68

2.4.5 Programas de Capacitación y Concienciación 69

2.4.6 Iniciativas Internacionales. 69

2.4.7 Estrategias de Mitigación 69

2.4.8 Participación Comunitaria. 70

2.4.9 Cooperación Internacional. 70

2.4.10 Desafíos y Oportunidades. 71

2.5.1 Conceptual 71

2.5.1 Glosario: 73

CAPITULO III. METODOLOGÍA 75

3.1 Tipo de Investigación 75

3.2 Enfoque de la investigación 75

3.3 Métodos de Investigación 76

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos 77

3.5 Universo, Población y Muestra 78

3.6 Técnicas de análisis y procesamiento de la Información 79

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 80

4.1 Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados 80

4.1.1 Resultados según el objetivo 1 80

Cimentación 85

Vigas de cimentación 85

Columnas 86

Vigas de cadena 87

Resultados del Ensayo con esclerómetro y Análisis Estructural 87

4.1.3. Resultados según el objetivo 3 108

CAPITULO V. PROPUESTA 115

5.1 Conclusiones 119

5.2 Recomendaciones 121

5.3 Reflexión Final 122

5.4 BIBLIOGRAFÍA 123

5.5 ANEXOS 126

ANEXO 1 126

ANEXO2 127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tablas Operacional de Variable 24

Tabla 2. Coordenadas de la extensión San Miguel..... 25

Tabla 3 Datos generales de la edificación..... 34

Tabla 4. Tabla Comparativa de Dosificaciones Típicas por Región y Tipo de Obra 47

Tabla 5. Escala de Richter nominal..... 59

Tabla 6. Escala Sísmica Modificada de Mercalli..... 60

Tabla 7. Resultados consolidados del ensayo con esclerómetro 88

Tabla 8. Propiedades de los Materiales Utilizados..... 99

Tabla 9. Geometría de Columnas 100

Tabla 10. Parámetros Sísmicos Aplicados 101

Tabla 11. Modos de Vibración Significativos 102

Tabla 12. Desplazamientos y Deformaciones Máximas..... 102

Tabla 13. Cargas Gravitatorias por Nivel..... 103

Tabla 14. Índices de Vulnerabilidad por Elemento 104

Tabla 15. Resumen de Vulnerabilidad Global 104

Tabla 16. tabla de patologías encontradas..... 107

Tabla 17. tabla de Asignación de responsabilidades 116

ÍNDICE DE FIGURAS/GRÁFICAS/IMÁGENES

figura 4.1Importancia Relativa de Normas NEC-15 en Edificios de Dos Pisos 35

figura 4.2Análisis de Desempeño Estructural en Edificaciones ante Eventos Sísmicos 40

figura 4.3Tipos de Hormigón y Desempeño Técnico 42

figura 4.4Propagación de Ondas Sísmicas 51

figura 4.5 Ondas P. 53

figura 4.6 Ondas S 55

figura 4.7 Onda Love 56

figura 4.8 Onda Rayleigh 57

figura 4.9 Escala de Richter 59

figura 4.10 Cinturón de Fuego 62

figura 0.1 Plano Arquitectónico de la planta baja del edificio Extensión San Miguel 81

figura 0.2 Plano Arquitectónico de la primera planta alta del edificio Extensión San Miguel 82

figura 0.3 Fachada del edificio extensión San Miguel 84

figura 0.4 Comprobación de la resistencia de los materiales del edificio 84

figura 0.5 Comprobación de la resistencia de los materiales del edificio 84

figura 0.6 Cimentación 85

figura 0.7 Columnas 87

figura 0.8 Datos Generales 91

figura 0.9 Incorporación de plantas 92

figura 0.10 Gestión de vista de plantillas 93

figura 0.11 Gestión de vista de plantillas completa 93

figura 0.12 Implementación de los pilares 94

figura 0.13 vista de columna..... 95

figura 0.14 Implementación de vigas y losa 95

figura 0.15 LOSA..... 96

figura 0.16 LOSA Completa..... 97

figura 0.17 Escaleras 98

figura 0.18Modelo 3D..... 98

INTRODUCCIÓN

La región andina del Ecuador, localizada dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, presenta una elevada amenaza sísmica debido a la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana y a la presencia de fallas geológicas activas como las de Pallatanga y Guayaquil. Esta condición geodinámica ha provocado eventos recurrentes que han puesto en evidencia la vulnerabilidad de la infraestructura, especialmente en sectores estratégicos como el educativo.

Las edificaciones universitarias concentran una alta densidad poblacional y cumplen funciones críticas para la continuidad académica y el resguardo comunitario durante emergencias. Sin embargo, estudios nacionales e internacionales señalan que gran parte de estas infraestructuras fueron construidas bajo normativas menos estrictas en términos sismo-resistentes, lo que incrementa su exposición al colapso o daño severo (UNICEF, 2019; Vargas, 2020).

Un caso representativo es el bloque principal de la Extensión Universitaria de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB) en San Miguel, edificado en 1991 y aprobado en 1996, cuando aún no regían los parámetros actuales de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15). Este edificio, núcleo operativo y académico de la extensión, alberga aulas, oficinas y laboratorios, siendo un espacio de alta concurrencia. Su antigüedad, las características constructivas de la época y su emplazamiento en zona de amenaza sísmica moderada-alta justifican un análisis riguroso de su vulnerabilidad.

En este proyecto, la presente investigación se orienta a identificar el grado de vulnerabilidad sísmica del bloque principal de la Extensión Universitaria de la UEB en San Miguel de Bolívar, mediante la aplicación de técnicas de evaluación estructural y modelación computacional. Asimismo, busca proponer medidas de reforzamiento estructural y de gestión del riesgo que garanticen la seguridad de sus ocupantes y la continuidad de las actividades académicas en escenarios sísmicos adversos.

El estudio se fundamenta en normativas nacionales e internacionales de evaluación sísmica entre ellas la NEC-15 y el método FEMA P-154, así como en enfoques contemporáneos de la ingeniería sísmica que consideran la vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional. De este modo, la investigación no solo constituye un aporte académico, sino también una herramienta técnica para la toma de decisiones institucionales en materia de resiliencia y gestión integral del riesgo de desastres. La gestión del riesgo sísmico en instituciones educativas constituye un eje estratégico para la protección de vidas humanas y la continuidad de los procesos académicos. En el Ecuador, más del 70% de las edificaciones educativas presentan algún grado de vulnerabilidad estructural (UNICEF, 2019), situación que se agrava en regiones con amenaza sísmica moderada-alta como la Sierra central.

Ante esta situación el estudio de la vulnerabilidad sísmica de bloque principal de la extensión, se plantea con una necesidad prioritaria desde el punto de vista académico técnico y social. Evaluar las condiciones estructurales del edificio permitirá identificar los principales factores de riesgo estimar su nivel de vulnerabilidad sísmica y proponer alternativas de mitigación que contribuían a salvaguardar la seguridad de la Comunidad universitaria y a fortalecer la resiliencia institucional frente a desastres naturales. Con base en esta problemática, el Capítulo I desarrolla la formulación general del proyecto, donde se presentan el contexto, la delimitación del problema, la justificación y los objetivos que orientan la investigación.

RESUMEN

La cordillera andina del Ecuador, al estar situada en el área de actividad sísmica del pacífico, está constantemente expuesta a movimientos sísmicos de diversa magnitud. Esta realidad representa un desafío importante para la seguridad de muchas infraestructuras, especialmente las educativas, que no solo albergan procesos de enseñanza-aprendizaje, sino que también cumplen un rol crucial en la protección y el bienestar de la comunidad. En este contexto, la Extensión Universitaria de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB), ubicada en el cantón San Miguel de Bolívar, se convierte en un caso emblemático para analizar los riesgos que enfrentan nuestras instituciones educativas. Este estudio se propuso como objetivo principal evaluar el nivel de vulnerabilidad sísmica en los elementos estructurales visibles del bloque principal de esta sede universitaria, con la finalidad de proponer alternativas técnicas que permitan reforzar la estructura y reducir el riesgo ante futuros sismos. Para alcanzar este propósito, se aplicó una metodología de enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo, haciendo uso de herramientas especializadas como el esclerómetro, inspecciones visuales detalladas y simulaciones computacionales mediante el software CYPECAD 2019. Los resultados revelaron ciertas inconsistencias en la calidad del concreto, problemas en las uniones entre vigas y columnas, así como elementos estructurales con niveles de vulnerabilidad por encima de lo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y el protocolo FEMA P-154. A partir de estos hallazgos, se propusieron medidas preventivas de reforzamiento estructural, tales como el encamisado de columnas clave, el aumento del confinamiento en vigas principales, el fortalecimiento de los nudos estructurales y la incorporación de sistemas permanentes de monitoreo estructural. Estas acciones buscan no solo proteger la infraestructura, sino también salvaguardar a quienes la habitan día a día. Se concluye que la intervención oportuna y planificada del edificio no solo garantiza la seguridad física de la

comunidad universitaria, sino que también asegura la continuidad de las actividades académicas en situaciones de emergencia.

PALABRAS CLAVE: *Vulnerabilidad sísmica, gestión del riesgo, reforzamiento estructural, edificaciones educativas, cordillera andina, NEC-15, FEMA P-154.*

ABSTRACT

The Andean mountain range of Ecuador, located in the área of seismic activity of the pacific, presents high seismic activity that compromises the safety of educational buildings, which are essential for social development and community protection. The San Miguel de Bolívar Extension of the Universidad Estatal de Bolívar (UEB) represents a key case study within this context. This research aimed to assess the seismic vulnerability of the exposed structural elements of the main building of the UEB Extension and to propose structural strengthening measures to mitigate the risks associated with seismic events.

The study followed a quantitative and descriptive approach, using structural diagnostic tools such as the Schmidt hammer, detailed visual inspections, and advanced computational modeling with CYPECAD 2019 software. The results revealed heterogeneity in concrete strength, deficiencies in beam-column connections, and elements with vulnerability indices exceeding the acceptable thresholds established by the Ecuadorian Construction Code (NEC-15) and FEMA P-154 methodology. Based on these findings, preventive strengthening measures were proposed, including jacketing of critical columns, increased confinement of main beams, reinforcement of structural joints, and the implementation of permanent structural monitoring systems. It is concluded that timely and planned intervention not only guarantees the physical safety of the university community but also ensures the continuity of academic activities in emergency situations.

KEYWORDS: *Seismic vulnerability, risk management, structural strengthening, educational buildings, Andean mountain range, NEC-15, FEMA P-154.*

CAPÍTULO I. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Planteamiento del Problema

La Extensión Universitaria de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB), ubicada en San Miguel de Bolívar, se sitúa en una región privilegiada entre la Sierra y la Costa. Este lugar, conocido por su belleza natural, se encuentra influenciado por las fallas geológicas de Pallatanga y Guayaquil, y está equidistante al volcán "Chimborazo". La cercanía a formaciones geológicas activas hace que la región sea propensa a sufrir terremotos.

Históricamente, la región ha experimentado varios eventos sísmicos significativos, como el terremoto de Pedernales en 2016, terremoto de Chillanes en 2017, el 6 de septiembre de 2018, un sismo de magnitud 6.2 con epicentro en Chimborazo, provocó un fuerte movimiento en San Miguel, con alta probabilidad de haber causado daños leves a moderados en las estructuras locales. Más recientemente, el 2 de mayo de 2021, un sismo de magnitud 4.03 tuvo su hipocentro en la provincia de Chimborazo cerca del centro turístico pangor, siendo sentido de forma clara y directa, aunque sin reportes de daños graves. Finalmente, el 14 de septiembre de 2023, un sismo de magnitud 4.8 con epicentro en Guayaquil, fue sentido en San Miguel, demostrando la amplia conectividad sísmica del país. En el caso del cantón San Miguel, los eventos sísmicos registrados en la región han puesto en evidencia la urgente necesidad de revisar y garantizar la seguridad estructural de sus espacios educativos.

La Universidad Estatal de Bolívar cuenta en esta localidad con una extensión universitaria conformada por varios bloques o edificaciones, siendo el bloque principal el más representativo, ya que concentra la mayor cantidad de aulas y actividades académicas. Esta edificación fue creada por el Honorable Consejo Universitario el 4 de enero de 1991 y su funcionamiento fue aprobado posteriormente mediante resolución del CONUEP el 19 de junio de 1996. Desde entonces, ha sido pensada como un espacio que brinde condiciones adecuadas y seguras para el aprendizaje de los estudiantes.

Precisamente por ello, resulta imprescindible llevar a cabo una investigación técnica que permita determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de este bloque. Mediante un estudio detallado, será posible conocer el estado actual de su estructura, evaluar su resistencia frente a posibles movimientos telúricos y, con base en ello, proponer medidas de mejora que salvaguarden la integridad tanto de los estudiantes como del personal docente que día a día transitan por sus aulas.

1.1. Formulación del Problema

¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica que presentan los elementos estructurales expuestos del bloque principal de la extensión universitaria de San Miguel, perteneciente a la Universidad Estatal de Bolívar?

1.2. Preguntas de Investigación

¿Qué nivel de afectación podría tener la edificación frente a un evento sísmico de magnitud considerable?

¿Cuáles son los componentes estructurales más frágiles o susceptibles al daño ante un sismo?

¿Qué intervenciones de reforzamiento estructural deben priorizarse para proteger la vida de los ocupantes y asegurar la continuidad funcional del edificio?

¿Cuál es el estado actual de la edificación en términos de integridad estructural y cumplimiento con las normativas vigentes de sismo-resistencia?

¿Qué deficiencias o daños estructurales son más comunes en esta edificación y de qué manera comprometerían su respuesta ante un sismo?

1.3. Justificación

Esta investigación se enmarca dentro de la línea de estudios sobre infraestructura segura y resiliente, con especial énfasis en edificaciones educativas vulnerables al riesgo sísmico. La necesidad de evaluar la resiliencia estructural del bloque principal de la extensión universitaria en San Miguel es más que pertinente; se trata de una edificación clave dentro del tejido educativo local, y su seguridad es un asunto de interés tanto académico como social. Ecuador ha sido testigo, en los últimos años, de varios sismos que han dejado una profunda huella en la infraestructura del país, poniendo a prueba la resistencia de los edificios y revelando fallas que podrían haberse prevenido.

San Miguel, en particular, se ubica en una zona de riesgo sísmico considerable, dado que está próxima a la Falla de Pallatanga y relativamente cerca de la Falla de Guayaquil, ambas producto de la interacción entre las placas tectónicas de Nazca, Cocos y Caribe. Esta condición geológica convierte a la región en una de constante movimiento y vulnerabilidad. El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional ha señalado a San Miguel como un área de alta exposición sísmica, y eventos recientes como el sismo del 30 de junio de 2019, relacionado con el Sistema de Fallas de Pallatanga, han afectado directamente a esta localidad y sus alrededores.

Frente a este panorama, la comunidad universitaria ha manifestado un interés creciente por conocer el estado real de su infraestructura educativa. Saber si el edificio resiste o no ante una emergencia no es solo una preocupación técnica, sino una responsabilidad colectiva. Los resultados de este estudio no solo aportarán información crucial sobre el nivel de vulnerabilidad de la estructura, sino que también permitirán elaborar recomendaciones concretas. Entre ellas, se podrán incluir estrategias de reforzamiento estructural, planes de mantenimiento preventivo y la adopción de tecnologías y prácticas de construcción que estén alineadas con la normativa ecuatoriana de sismo-resistencia.

Esto garantizará la seguridad de quienes trabajan y estudian en el lugar, pero también asegurará que la labor educativa vital para el desarrollo de la región no se vea interrumpida. Además, el estudio introduce métodos de evaluación técnica, lo que representa un aporte innovador tanto para la academia como para el campo de la ingeniería estructural. Además, su aplicación de metodologías y soluciones adaptadas confiere una novedad científica. Como ingeniero en gestión de riesgos de desastres, el aporte fundamental de esta investigación radica en analizar la vulnerabilidad sísmica de los elementos estructurales del edificio bloque principal de la extensión universitaria en San Miguel.

1.2 Objetivos: General y Específicos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el grado de vulnerabilidad sísmica de los elementos estructurales expuestos del edificio bloque principal de la extensión universitaria de la UEB en San Miguel.

1.5.2 Objetivo especifico

- Evaluar la resistencia del hormigón en elementos estructurales principales mediante esclerometría.
- Establecer una simulación con el apoyo de software especializado, para determinar el comportamiento de los elementos estructurales del edificio, para identificar el grado de vulnerabilidad.
- Proponer medidas de reforzamiento estructural para minimizar los daños del bloque principal ante movimientos sísmicos.

1.3 Variables

1.6.1 Variable Independiente.

Movimiento sísmico: Hace referencia al nivel de deterioro físico y funcional que puede experimentar una estructura cuando es sometida a fuerzas sísmicas. Este se evalúa mediante indicadores como la aparición de grietas, deformaciones, pérdida de capacidad resistente de los materiales y desplazamientos en los elementos estructurales.

1.6.2 Variable Dependiente.

Vulnerabilidad de los elementos estructurales: Se entiende como el conjunto de características físicas, mecánicas y geométricas de una edificación que determinan su susceptibilidad a sufrir daños o colapsar frente a un evento sísmico.

1.6.3 Operacionalización de Variables

Tabla 1 Tablas Operacional de Variable

Variable	Dimensión	Indicadores	Método de medición	Escala de medición
Variable independiente de los movimientos sísmicos	Magnitud del sismo	Grado de magnitud de eventos sísmicos recientes	Datos del IGEPN o centros sismológicos	Razón (Escala de Richter)
	Intensidad del sismo	Nivel de daño visible en el edificio	Observación postismo / reporte técnico	Ordinal (Escala de Mercalli)
Variable dependiente de la vulnerabilidad de los elementos estructurales	Tipo de hormigón	Tipo de hormigón utilizado (armado, simple)	Revisión de planos	Nominal
	Resistencia del Hormigón	f'c del hormigón usado en elementos principales	Esclerómetro	Razón (Mpa)
	Comportamiento estructural	Ductilidad, disipación de energía, tipo de falla esperada	Simulación estructural (CYPE)	Ordinal

Nota: Elaboración Propia en base a los datos recogidos en la investigación (2025)

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Referencial o Georreferencial

Ubicación y Contexto Geográfico:

El núcleo de la Extensión Universitaria de la Universidad Estatal de Bolívar (UEB) se encuentra en San Miguel de Bolívar, en las coordenadas UTM 17M 769328 mE, 9811222 mN (WGS84), a lo largo de la ruta Guaranda - Babahoyo, en la provincia de Bolívar. Esta localización lo posiciona en una zona de transición entre la Sierra y la Costa del Ecuador, una región de gran relevancia estratégica debido a su actividad educativa y su vulnerabilidad a fenómenos naturales de origen geológico.

Tabla 2. Coordenadas de la extensión San Miguel

Este	*Norte*	*Latitud*	*Longitud*	*Alcance*
718744.00	*9811827.00*	*-1.701531°*	*-79.033860°*	*173m*

Nota: Elaboración Propia en base a los datos recogidos en la investigación (2025)

Contexto Geológico y Sismo tectónico

El edificio se sitúa en un área con un alto riesgo sísmico, influenciada de manera directa por dos sistemas de fallas geológicas activas de primer orden:

- **Sistema de Fallas de Pallatanga:** Una falla de rumbo dextral de corte cortical que constituye el límite sur del bloque norandino.
- **Falla de Guayaquil:** Consiste en un sistema de fallas de tipo inversa que afecta la cuenca de Guayaquil y la costa de Ecuador.

La interacción entre la Placa de Nazca (en subducción) y la Placa Sudamericana provoca una considerable deformación en la corteza de esta zona, lo que la hace susceptible a sismos interplaca de magnitud considerable (M > 6.0). El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) indica que este sector presenta una aceleración pico del terreno (PGA) estimada en más de 0. 35g, para un periodo de retorno de 475 años.

Clasificación Normativa

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y su sección sobre Peligro Sísmico (NEC-SE-DS), el área en cuestión está categorizada en la Zona Sísmica 4 (la de mayor riesgo en el país) y Tipo de Suelo C (que corresponde a un suelo rígido, con velocidades de onda de corte Vs_{30} entre 360 m/s y 760 m/s). Esta categorización impone que las edificaciones deben ser diseñadas y evaluadas bajo estándares de resistencia y ductilidad.

Justificación del Estudio

La confluencia de un alto riesgo sísmico, la antigüedad de la construcción (realizada en 1991, bajo normas sísmicas menos estrictas) y su importancia como infraestructura educativa con elevada ocupación humana, justifican completamente esta investigación. Este contexto georreferencial establece las bases técnicas necesarias para demostrar la importancia de realizar un análisis exhaustivo de su vulnerabilidad sísmica estructural.

Antecedentes

La ingeniería en gestión de riesgos ante desastres desempeña un papel crucial en la planificación y construcción de infraestructura segura. Toda edificación, antes de ser ejecutada, debe ser cuidadosamente estudiada, verificada y evaluada por profesionales especializados, especialmente por ingenieros en riesgos. Esto cobra mayor relevancia durante la fase de diseño,

ya que es en esta etapa donde se establecen las bases para el éxito o el fracaso de un proyecto constructivo. Según (Narváez Rosero, 2014), los riesgos más comunes durante esta fase son de tipo técnico y operacional, los cuales pueden alterar significativamente el desarrollo esperado. Para prevenir y mitigar estos riesgos, se aplica la metodología propuesta en la Guía PMBOK, que contempla una secuencia de pasos: identificación de riesgos, análisis cualitativo y cuantitativo, y elaboración de planes de contingencia. Un manejo adecuado de estos factores no solo permite tomar decisiones acertadas, sino también minimizar impactos negativos, optimizar costos y garantizar diseños estructurales eficientes y seguros.

Importancia De La Gestión De Riesgos En La Fase De Diseño

Según el estudio "Gestión de riesgos en la fase de diseño para proyectos de construcción utilizando la guía PMBOK", se confirma que gestionar los riesgos desde el inicio del proyecto es fundamental. Identificar a tiempo los riesgos técnicos y operativos evita retrasos, permite anticiparse a escenarios adversos y garantiza que el diseño sea no solo funcional, sino también económicamente viable y seguro.

Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica En Ecuador

Por otro lado, el artículo "Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador" resalta la necesidad urgente de evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones. Este tipo de evaluación no solo analiza aspectos estructurales, sino también las condiciones del entorno, lo cual coincide con nuestro enfoque metodológico, centrado en simular el comportamiento estructural ante sismos y detectar puntos críticos. Al igual que en este proyecto, las metodologías estudiadas emplean datos técnicos sobre los materiales, tipología estructural y

condiciones geográficas para estimar el nivel de riesgo sísmico. Esto permite una toma de decisiones más informada y un diseño más adaptado a la realidad sísmica del país.

Riesgos Naturales Y Seguridad Estructural

La preocupación de los expertos en construcción no es infundada, es decir las estructuras deben ser capaces de soportar eventos extremos como terremotos, vientos intensos u otras cargas accidentales. Estas acciones inesperadas pueden dañar tanto los elementos estructurales como los no estructurales, o incluso llevar al colapso total de la edificación. Durante la vida útil de una construcción, estos fenómenos representan una amenaza directa para quienes la ocupan, generando posibles pérdidas humanas, heridas y graves daños económicos. Por ello, investigaciones como la de Vielma Pérez (2014) han sido fundamentales para comprender el comportamiento de las edificaciones ante sismos hipotéticos y diseñar medidas de mitigación realistas. Estas investigaciones aportan herramientas técnicas para evaluar el grado de vulnerabilidad estructural y proponer intervenciones que refuercen las construcciones existentes, garantizando así una mayor seguridad para las personas y una mejor preparación frente a desastres naturales.

Contribuciones Al Estudio De La Vulnerabilidad Sísmica

La preocupación por la capacidad de las edificaciones para resistir eventos sísmicos extraordinarios está en el centro de muchas investigaciones actuales, y se relaciona directamente con los objetivos de este estudio. Tal como se aborda en el documento “Contribuciones a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios”, es fundamental comprender cómo estos fenómenos naturales pueden comprometer tanto la seguridad de los ocupantes como la integridad estructural de los edificios. En nuestro caso, la evaluación de la resiliencia del bloque principal de

la Universidad Estatal de Bolívar frente a movimientos telúricos representa una prioridad para garantizar entornos educativos seguros.

Aprendizajes De La Experiencia Internacional

Una de las referencias clave para nuestro trabajo es el estudio realizado por Carreón Hernández (2021), titulado "Método para evaluar la vulnerabilidad sísmica en edificios de concreto reforzado en México". En él se plantea una metodología práctica para analizar edificios existentes de concreto reforzado, con énfasis en aquellos construidos con marcos rígidos o muros estructurales. Inspirado en la normativa japonesa, este enfoque busca ser accesible para ingenieros que aún no cuentan con experiencia avanzada ni con software especializado.

El modelo propuesto prioriza métodos simples, de rápida aplicación y con alto valor práctico, permitiendo evaluar el estado estructural de edificaciones sin recurrir a herramientas complejas. Esta propuesta resulta especialmente útil para el contexto latinoamericano, donde muchas edificaciones presentan condiciones similares. En ese sentido, la experiencia japonesa sirve como guía para establecer criterios que también pueden aplicarse en la evaluación del edificio objeto de nuestra investigación, ayudando a identificar riesgos estructurales y a tomar decisiones informadas sobre su reforzamiento.

Metodología Simplificada Y Su Relevancia

Por otro lado, el estudio de Ayala (2001), "Evaluación del desempeño sísmico de estructuras", presenta una metodología simplificada para analizar cómo responden las estructuras ante un sismo. Este método ha sido validado a través del análisis de diferentes tipos de edificaciones: marcos planos de hasta 17 niveles, estructuras tridimensionales con asimetría e incluso superestructuras de puentes.

Los resultados obtenidos se compararon con análisis dinámicos no lineales, y la correlación fue positiva, demostrando la eficacia de este enfoque. Además, se plantea una variante del método que permite diseñar estructuras con base en su desempeño esperado, lo que representa un cambio importante en la forma de proyectar edificaciones más seguras.

En el contexto de nuestra investigación, esta metodología resulta especialmente relevante, ya que buscamos comprender el comportamiento del bloque principal de la UEB ante un posible evento sísmico. Aplicar un método validado, accesible y adaptado a estructuras asimétricas —como las que caracterizan a muchas edificaciones institucionales— fortalece el análisis y permite formular recomendaciones técnicas concretas.

Conclusión De Los Aprendizajes Teóricos

En conjunto, los estudios revisados refuerzan la importancia de diseñar y aplicar metodologías de evaluación sísmica adaptadas a la realidad estructural y económica de nuestro contexto. Tanto la experiencia internacional como los desarrollos metodológicos latinoamericanos coinciden en que es posible crear herramientas prácticas, seguras y eficientes que permitan evaluar la vulnerabilidad sísmica sin depender exclusivamente de software costosos o equipos complejos. En ese marco, nuestro trabajo se alinea con la necesidad urgente de contar con estructuras resilientes, especialmente en zonas sísmicamente activas como San Miguel, donde la infraestructura educativa debe mantenerse firme ante los desafíos que impone la naturaleza.

1.4. CIENTÍFICO

2.3.1 La Vulnerabilidad Sísmica A Lo Largo De La Historia:

A lo largo de la historia, la vulnerabilidad frente a los terremotos ha sido un factor determinante en la evolución de la ingeniería y la arquitectura. En las civilizaciones antiguas como Grecia o Roma los movimientos sísmicos eran percibidos como fenómenos impredecibles y devastadores, capaces de destruir ciudades enteras sin que existiera conocimiento técnico para prevenir sus consecuencias. No fue sino con el paso del tiempo y el desarrollo de nuevas tecnologías que las sociedades comenzaron a adaptar sus edificaciones a las características del terreno y a los riesgos sísmicos propios de cada región.

Durante el siglo XX, catástrofes como el terremoto de San Francisco en 1906 o el de Tohoku en Japón en 2011 marcaron un antes y un después en la forma de pensar y construir. Estos eventos impulsaron la creación de normas más estrictas, el uso de estructuras reforzadas, y la incorporación de sistemas de aislamiento sísmico. Así, la necesidad de reducir la vulnerabilidad frente a los sismos ha funcionado como motor de innovación y transformación en el diseño estructural, priorizando la seguridad de las personas y la resiliencia de las infraestructuras.

Con el avance de la ciencia, se han desarrollado modelos y metodologías más precisas para analizar la respuesta de los edificios ante los sismos. Desde la segunda mitad del siglo XX, disciplinas como la ingeniería estructural y la geotecnia han generado importantes avances, dando lugar a códigos de construcción antisísmicos, uso de materiales más resistentes y flexibles, y tecnologías como los sistemas de monitoreo estructural y de alerta temprana.

En la actualidad, el enfoque frente al riesgo sísmico es más integral: no solo se diseña para resistir, sino también para garantizar la continuidad operativa, educar a la población y desarrollar ciudades más preparadas. Ciudades como Tokio, Los Ángeles o Santiago de Chile han

implementado rigurosos sistemas de prevención, reconociendo que la vulnerabilidad sísmica no es solo un problema técnico, sino también social y económico. Gracias a la investigación y la tecnología, estamos mejor preparados para enfrentar estos desafíos, aunque el riesgo siempre estará presente.

¿Qué Es La Vulnerabilidad Sísmica?

La vulnerabilidad sísmica se refiere al grado en que una estructura, sistema o comunidad puede verse afectada por un terremoto, ya sea en forma de daños físicos, pérdidas humanas o afectaciones funcionales. Este nivel de vulnerabilidad está determinado por múltiples factores: el tipo de materiales usados, el diseño estructural, la antigüedad de la edificación, la calidad de su construcción, el estado del terreno y el nivel de mantenimiento.

Cuando un edificio tiene alta vulnerabilidad, significa que posee una baja capacidad para resistir y recuperarse de los efectos de un sismo. Esto resalta la urgencia de aplicar medidas de prevención y mitigación, como el diseño sismo-resistente, la implementación de normativas actualizadas, y la preparación de respuestas efectivas para situaciones de emergencia. (Delgado, 2023)

Vulnerabilidad Estructural

La vulnerabilidad estructural es uno de los ejes centrales en la ingeniería de riesgos. Se refiere a la propensión de una edificación a sufrir daños severos cuando enfrenta eventos extremos como terremotos, huracanes o cargas inesperadas. Esta vulnerabilidad puede manifestarse en diferentes formas: grietas en paredes, deficiencias en los materiales, humedad persistente, o diseños que no cumplen con los estándares actuales de seguridad sísmica.

Evaluar esta vulnerabilidad no solo implica revisar si el edificio puede derrumbarse o no. También considera su capacidad para seguir funcionando durante y después de un evento sísmico.

Un hospital, por ejemplo, no solo debe resistir, sino también seguir operando, lo cual eleva los estándares de diseño y seguridad. Comprender estos riesgos permite planificar con antelación y reducir el impacto humano y económico que podría generar un desastre natural.

Vulnerabilidad No Estructural

La vulnerabilidad no estructural se refiere a todos aquellos elementos del edificio que, sin formar parte del sistema principal de soporte, pueden sufrir daños importantes durante un terremoto. Esto incluye instalaciones eléctricas y sanitarias, sistemas de comunicación, equipos tecnológicos, muebles, divisiones internas y elementos decorativos.

Aunque no comprometen directamente la estabilidad del edificio, estos elementos pueden afectar seriamente la funcionalidad del inmueble. Por ejemplo, un centro educativo podría quedar inutilizable si sus sistemas eléctricos colapsan o si los equipos tecnológicos se dañan. Por ello, evaluar esta dimensión es fundamental, ya que permite garantizar no solo la seguridad física, sino también la continuidad operativa en contextos de emergencia.

Vulnerabilidad Funcional

La vulnerabilidad funcional se centra en la capacidad del edificio para mantener sus operaciones críticas antes, durante y después de un sismo. Este enfoque analiza qué tan preparado está un inmueble para seguir cumpliendo su propósito, considerando aspectos como la evacuación segura, la preservación de servicios básicos, la accesibilidad, y la rapidez con la que puede volver a funcionar con normalidad tras un desastre.

Esta evaluación es especialmente relevante en edificios que albergan servicios esenciales como hospitales, escuelas, universidades o centros de emergencia, ya que la interrupción de sus funciones puede agravar el impacto social del sismo. Identificar y reducir esta vulnerabilidad es

parte de una estrategia más amplia de resiliencia urbana, que busca no solo sobrevivir al desastre, sino recuperarse rápidamente y proteger a la comunidad.

2.3.2 Metodologías de Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica

Método FEMA P-154

Mediante la implementación de la metodología FEMA 154, se procedió a la inspección visual detallada de la edificación, ajustándose a los parámetros y criterios técnicos allí estipulados. El objetivo del estudio fue cuantificar el nivel de vulnerabilidad sísmica de la estructura y predecir si desempeño ante movimientos telúricos. El proceso de la inspección visual permitió establecer los siguientes hallazgos:

Datos generales de la edificación

Tabla 3 Datos generales de la edificación

DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA			
Nombre de la estructura:	Extensión Universitaria de San Miguel	Año de construcción:	1991
Dirección:	Vía Guaranda-Babahoyo	Área construida:	1758,75 m².
Sitio de referencia:	FerriMaster	Número de pisos:	2 pisos
Tipo de uso	Educativo		
DATOS DEL PROFESIONAL			
Nombre:	Tamami Chimborazo Edison Bladimir	Veloz Solis Anthony David	
CI:	0250314416	0250136710	

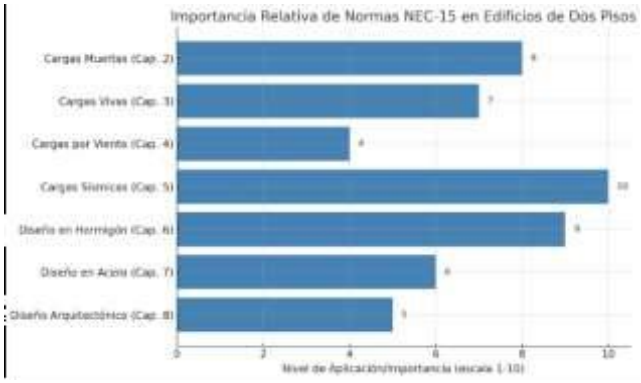
Como parte del análisis de vulnerabilidad sísmica, se aplicó la matriz de inspección visual FEMA a la Extensión Universitaria de la UEB. La tabla 4 corresponde a los datos generales de esta edificación, consignando la información clave para su caracterización: nombre, dirección, área de construcción y uso principal.

Normativa NEC-15

La Normativa NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción, versión 2015) representa un marco regulatorio fundamental para la construcción sismo-resistente en Ecuador. Su objetivo principal es establecer parámetros y requisitos técnicos que garanticen la seguridad estructural de las edificaciones ante eventos sísmicos. A diferencia de otros métodos que se centran únicamente en la evaluación, NEC-15 proporciona lineamientos específicos para el diseño y construcción de estructuras.

La normativa asigna puntajes y establece criterios de cumplimiento para diferentes aspectos constructivos, considerando factores como la zonificación sísmica, tipos de suelo, sistemas estructurales y requisitos mínimos de diseño. Su implementación busca reducir la vulnerabilidad sísmica mediante la aplicación de principios técnicos que mejoren la capacidad de respuesta de las edificaciones, protegiendo así la vida de sus ocupantes y minimizando potenciales daños económicos durante un evento telúrico.

figura 4.1Importancia Relativa de Normas NEC-15 en Edificios de Dos Pisos



Nota: *Elaboración Propia (2025)*

La gráfica muestra que las cargas sísmicas y el diseño en hormigón son los capítulos más relevantes de las NEC-15 en edificios de dos pisos, reflejando la necesidad de estructuras resistentes en zonas sísmicas como Ecuador. Las cargas muertas y vivas también son esenciales, ya que afectan directamente la estabilidad del edificio. En cambio, normas como las de cargas por viento o diseño arquitectónico tienen una aplicación más moderada, aunque siguen siendo importantes para un diseño integral y normativo.

Método Funvisis:

El método FUNVISIS, desarrollado por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, es una herramienta técnica especialmente diseñada para calcular el índice de riesgo sísmico de las edificaciones. Al igual que otros modelos reconocidos, como FEMA y SARA, este enfoque permite cuantificar la vulnerabilidad estructural ante posibles eventos sísmicos, facilitando su categorización y comprensión.

Su fortaleza radica en el análisis de múltiples variables: desde las características estructurales del edificio, hasta el tipo de suelo, ubicación geológica y condiciones del entorno. Gracias a esta mirada integral, el método FUNVISIS no solo busca evaluar el nivel de riesgo, sino también aportar información clave para la planificación urbana, el diseño de estrategias de mitigación y la toma de decisiones en materia de seguridad estructural. Se trata de una herramienta útil tanto para ingenieros como para autoridades locales comprometidas con la prevención de desastres.

2.3.3 AVANCES TECNOLÓGICOS EN LA EVALUACIÓN SÍSMICA

2.3.3.1 Sistemas de monitoreo estructural

El desarrollo de sistemas de monitoreo estructural representa uno de los avances más relevantes en la gestión moderna de riesgos sísmicos. Estos sistemas permiten vigilar en tiempo

real la salud de un edificio, mediante sensores inteligentes y redes de comunicación que capturan datos sobre su comportamiento durante y después de un sismo.

Tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) han permitido que estos datos sean transmitidos a plataformas en la nube, donde los ingenieros pueden analizarlos desde cualquier parte del mundo. Esto no solo mejora la capacidad de respuesta ante emergencias, sino que también facilita el mantenimiento preventivo, ya que es posible detectar patrones de deterioro o señales de alerta antes de que se produzcan daños mayores.

En ciudades sísmicamente activas como Guaranda, la implementación de estas tecnologías es especialmente valiosa. No solo fortalecen la seguridad estructural, sino que también brindan tranquilidad a los usuarios y administradores, al saber que cuentan con un sistema que monitorea constantemente el estado del edificio.

2.3.3.2 Técnicas de construcción antisísmica

Las técnicas de construcción antisísmica buscan proteger la vida humana y reducir el daño estructural mediante un conjunto de estrategias aplicadas desde el diseño hasta la ejecución de una edificación. Entre las más destacadas se encuentra el aislamiento sísmico en la base, que permite que el edificio se mueva de forma independiente al suelo durante un sismo, reduciendo así las fuerzas internas.

También se prioriza el diseño con ductilidad, es decir, el uso de materiales capaces de deformarse sin colapsar, como el acero y el concreto reforzado. Esto se complementa con una distribución adecuada de masa y rigidez, evitando torsiones peligrosas.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) proporciona directrices claras sobre estos aspectos, incluyendo la calidad de los materiales, geometría de los elementos estructurales y procedimientos de diseño. Además, gracias al uso de software de modelado estructural, es posible

prever cómo se comportará un edificio frente a distintos escenarios sísmicos, optimizando el diseño antes de la construcción.

Finalmente, es esencial que los profesionales involucrados estén en constante actualización. La formación continua de ingenieros y arquitectos es clave para aplicar correctamente estos principios y avanzar hacia construcciones cada vez más seguras.

2.3.3.3 Materiales de construcción más resistentes

La elección de los materiales es otro factor determinante en la capacidad de una edificación para resistir terremotos. Materiales como el concreto reforzado y el acero se destacan por su resistencia y ductilidad. En la actualidad, también se utilizan materiales innovadores como el concreto de alta resistencia, paneles prefabricados y mampostería liviana, que combinan eficiencia, rapidez constructiva y reducción de cargas sísmicas. Además, el desarrollo de soluciones como los sistemas de refuerzo con fibra de carbono ha sido clave para rehabilitar estructuras antiguas, aumentando su resistencia sin alterar significativamente su diseño original. Este tipo de materiales son ideales en intervenciones correctivas y fortalecimiento estructural.

En paralelo, también se promueve el uso de materiales sostenibles o reciclados, contribuyendo no solo a la seguridad, sino también a la reducción del impacto ambiental. Esta combinación de resistencia, innovación y sostenibilidad es esencial para construir edificaciones verdaderamente resilientes ante desastres naturales.

2.3.3.4 Análisis de desempeño estructural

El análisis de desempeño estructural permite entender cómo se comportará un edificio bajo cargas sísmicas, anticipando posibles fallos o deformaciones. Este enfoque busca garantizar que las estructuras no solo resistan, sino que mantengan su funcionalidad y seguridad durante y después de un sismo.

Se divide en tres enfoques principales:

Métodos Simplificados De Evaluación:

Estos métodos permiten realizar una primera valoración de la vulnerabilidad estructural sin requerir simulaciones complejas. Se utilizan, por ejemplo, espectros de respuesta sísmica, análisis de desplazamientos y fuerzas aplicadas. Son especialmente útiles en etapas preliminares del diseño o cuando se cuenta con recursos limitados.

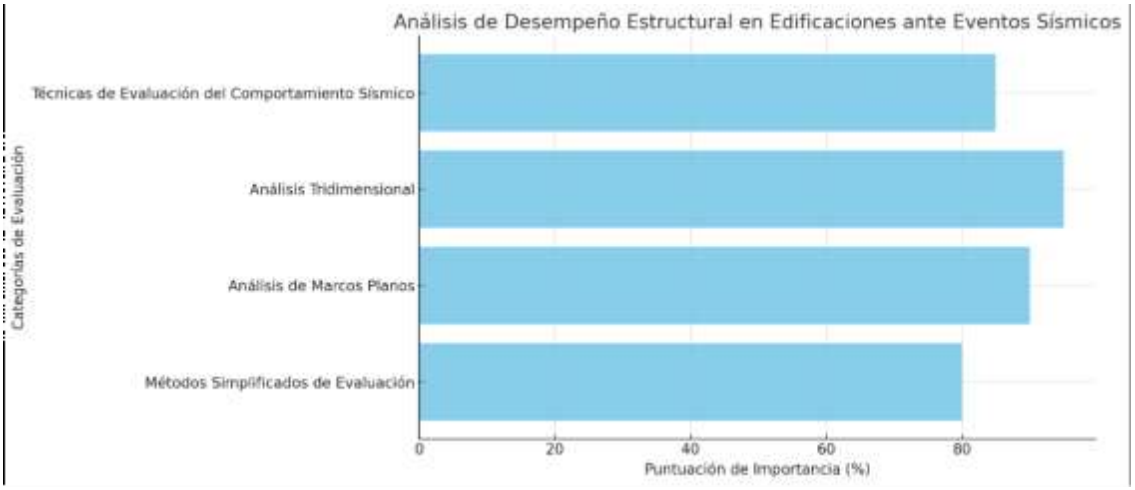
Análisis De Marcos Planos y Tridimensionales:

El análisis de marcos planos (bidimensionales) permite evaluar la distribución de fuerzas en edificaciones de varios pisos, identificando posibles zonas críticas. Por otro lado, el análisis tridimensional (3D) es indispensable en estructuras complejas, ya que contempla interacciones en múltiples direcciones, ofreciendo una representación más realista del comportamiento del edificio ante un sismo.

Técnicas De Evaluación Del Comportamiento Sísmico:

Estas técnicas pueden ir desde evaluaciones cualitativas hasta modelos computacionales avanzados. El análisis modal, por ejemplo, permite identificar las frecuencias de vibración natural de una estructura, y el análisis espectral predice cómo responderá a diferentes niveles de intensidad sísmica. Combinados, estos métodos permiten tomar decisiones más informadas y precisas sobre el diseño y reforzamiento de edificaciones.

figura 4.2Análisis de Desempeño Estructural en Edificaciones ante Eventos Sísmicos



Nota: *Elaboración Propia (2025)*

2.3.4 Hormigón Y Su Comportamiento

2.3.4.1 Hormigón Simple (No Estructural en Edificios)

El hormigón simple, compuesto solo por cemento, áridos naturales (arena y grava) y agua, se emplea en edificios para elementos no sometidos a tracción o flexión significativa. Sus propiedades incluyen alta resistencia a compresión (15-25 MPa), baja resistencia a tracción (≈10% de su compresión), y fragilidad ante impactos. En construcción, se usa principalmente en cimentaciones superficiales (zapatas aisladas bajo cargas modestas), soleras de contacto (bases para pavimentos interiores), rellenos masivos (nivelaciones bajo suelos), y muros de contención bajos (hasta 1.5 m). Requiere juntas de contracción cada 2-3 m para controlar fisuras por retracción. Su bajo costo y facilidad de mezclado in situ lo hacen ideal para aplicaciones secundarias, pero su falta de ductilidad lo excluye de estructuras portantes.

2.3.4.2 Hormigón Armado (Estructura Principal)

El hormigón armado integra hormigón simple con barras de acero corrugado, combinando la resistencia a compresión del hormigón con la capacidad del acero para absorber tracciones. Esta sinergia permite crear losas de entrepiso, vigas, columnas y cimentaciones profundas (pilotes o

zapatas combinadas). Sus propiedades clave son ductilidad (deformación sin colapso ante sismos), control de fisuras mediante el refuerzo, y adaptabilidad a formas complejas. En edificios, el acero compensa la debilidad del hormigón en zonas traccionadas (parte inferior de vigas, soportes de voladizos). La durabilidad depende críticamente del recubrimiento de hormigón (mínimo 4 cm en exteriores) para proteger el acero de la corrosión por humedad o cloruros. Es el sistema estructural más usado en edificios de mediana altura (hasta 25 pisos).

2.3.4.3 Hormigón Pretensado (Elementos Prefabricados)

Este hormigón incorpora cables de acero de alta resistencia (tendones) tensados antes del fraguado. Al liberarlos, comprimen el hormigón, mejorando su respuesta a tracciones futuras. En edificación, se emplea en vigas prefabricadas para grandes luces (naves industriales, aparcamientos), losas alveolares (entre 12-20 m de luz sin apoyos intermedios), y fachadas penalizadas. Sus ventajas incluyen menor deformación (flecha) bajo carga, reducción de fisuras, y secciones más esbeltas que ahorran material. Los elementos se fabrican en planta bajo control de calidad, garantizando alta resistencia (35-50 MPa) y precisión dimensional. Limitaciones: requiere equipos especializados para el tensado y logística de transporte de piezas grandes. Ideal para proyectos modulares con repetición de elementos.

figura 4.3Tipos de Hormigón y Desempeño Técnico



Nota: *Elaboración Propia (2025)*

El hormigón simple destaca en aplicaciones no estructurales por su bajo costo y facilidad de implementación, pero exhibe fragilidad y pobre control de fisuras. El hormigón armado ofrece un equilibrio óptimo: combina ductilidad sísmica, versatilidad geométrica y control de fisuras mediante refuerzo, siendo idóneo para elementos estructurales principales.

El pretensado, pese a requerir maquinaria especializada y mayor inversión, maximiza la resistencia a compresión (35-50 MPa), minimiza fisuras y permite soluciones esbeltas para grandes luces, aunque sacrifica adaptabilidad in situ. Todos exigen adecuado mantenimiento y calidad de ejecución para garantizar durabilidad, siendo el armado el más versátil en edificaciones convencionales.

2.3.5 Resistencia, Curado Y Patologías

2.3.5.1 Resistencia del Hormigón

La resistencia del hormigón se define por su capacidad para soportar esfuerzos de compresión, típicamente medida en megapascales (MPa) a los 28 días. Los valores comunes varían según el elemento estructural y el diseño específico de la obra. Por ejemplo, en estructuras

residenciales, la resistencia puede oscilar entre 17-21 MPa para cimentaciones y losas, mientras que en elementos como columnas y vigas puede ser de 21-28 MPa. Para edificios de gran altura o en zonas de alta demanda estructural, como las sísmicas, la resistencia puede alcanzar o superar los 35 MPa.

Factores Clave En La Resistencia Del Hormigón

Uno de los aspectos más determinantes en la resistencia del hormigón es la relación agua/cemento (a/c). En términos simples, una menor proporción de agua en relación con el cemento suele traducirse en un material más resistente y menos poroso. Esta relación debe ser cuidadosamente controlada, especialmente en climas secos, donde la rápida evaporación puede afectar negativamente el proceso de fraguado. Mantener una relación a/c adecuada —por ejemplo, igual o inferior a 0.45— es crucial para evitar una porosidad excesiva que debilite el material.

Los áridos también desempeñan un papel fundamental. Su tipo, forma y calidad influyen directamente en la adherencia entre los componentes del hormigón, afectando su resistencia final. Para verificar que el hormigón cumple con los parámetros establecidos en el diseño, es indispensable realizar un seguimiento de la resistencia mecánica mediante ensayos en probetas cilíndricas en laboratorios acreditados.

Además, es importante tener en cuenta que condiciones como la altitud pueden modificar el tiempo de fraguado, por lo que estos factores deben considerarse desde la etapa de planificación del proyecto.

2.3.5.2 Curado Del Hormigón: Prácticas Esenciales

El curado del hormigón es un proceso vital que asegura el desarrollo adecuado de la resistencia y durabilidad del material. Adaptar las prácticas de curado a las condiciones ambientales específicas es esencial para evitar problemas como fisuras o pérdida de resistencia.

En ambientes con alta humedad relativa, el uso de membranas de curado (ya sean químicas o físicas) es especialmente efectivo, ya que evita la evaporación prematura del agua y reduce el riesgo de fisuración por retracción plástica. Por otro lado, en climas fríos o con alta radiación ultravioleta, es necesario regar constantemente la superficie del hormigón durante al menos 7 a 10 días, garantizando así una hidratación continua que favorezca el proceso de fraguado.

Para estructuras de gran volumen, como cimentaciones de edificios o infraestructuras masivas, se emplean técnicas específicas como el uso de mantas geotextiles humedecidas, que ayudan a mantener una temperatura uniforme y a controlar el proceso térmico interno del hormigón, minimizando así el riesgo de fisuración térmica.

El incumplimiento del curado mínimo recomendado (generalmente 7 días) puede reducir significativamente la resistencia final del hormigón (hasta un 40%), comprometiendo la integridad estructural, especialmente en elementos expuestos.

2.3.5.3 Patologías Comunes en el Hormigón

Las patologías del hormigón suelen estar relacionadas con factores ambientales, errores en la dosificación de la mezcla o malas prácticas constructivas. Una de las patologías más frecuentes es la corrosión de las armaduras, que ocurre por la penetración de cloruros en ambientes marinos o con presencia de sales, agravada por altas relaciones a/c o recubrimientos insuficientes del acero. La fisuración por retracción plástica es común en losas y pavimentos, especialmente en condiciones de evaporación rápida, y se agrava si se añade agua extra a la mezcla para aumentar la trabajabilidad.

Otra patología recurrente es la eflorescencia, donde sales solubles en los áridos o el agua de mezcla migran a la superficie del hormigón debido a la humedad capilar, dejando depósitos blanquecinos y desprendiendo revestimientos. El ataque por sulfatos puede ocurrir en

cimentaciones expuestas a suelos ácidos o aguas subterráneas con sulfatos, manifestándose como una desintegración superficial del hormigón si no se utiliza un cemento resistente a los sulfatos. La prevención de estas patologías incluye una dosificación adecuada del hormigón, el uso de aditivos específicos (como inhibidores de corrosión) y un control estricto del curado.

2.3.6 Dosificación del hormigón

2.3.6.1 Dosificación del Hormigón en Ecuador

En Ecuador, la dosificación del hormigón se rige por la norma técnica NEC-SE-HM (Norma Ecuatoriana de la Construcción - Hormigón Estructural), basada en estándares internacionales como el ACI 318 pero adaptada a materiales locales, condiciones climáticas y prácticas constructivas del país. Los componentes principales incluyen cemento Portland Tipo GU (cumpliendo la norma NTE INEN 2380), producido por empresas como Holcim o Utopía; áridos como arena de río (ej. Río Guayllabamba) o grava triturada de canteras como Pomasqui; agua potable libre de contaminantes (NTE INEN 1108); y aditivos como superplastificantes Glenium distribuidos por Sika Ecuador. La selección de materiales considera variaciones regionales: en la Costa se prioriza cemento resistente a sulfatos por la humedad, en la Sierra se usan acelerantes de fraguado por bajas temperaturas, y en el Oriente se incorporan aditivos hidrófugos ante lluvias intensas.

Proceso de Dosificación según NEC-SE-HM

El proceso inicia definiendo la resistencia requerida (f'c), que para columnas en Quito oscila entre 21-28 MPa. Luego se calcula la relación agua/cemento (a/c), con un máximo de 0.50 en zonas húmedas como Guayaquil y 0.45 en suelos volcánicos de la Sierra. Para un hormigón con asentamiento de 100 mm (medido con cono de Abrams) y áridos de 19 mm, se estiman 180 litros de agua por metro cúbico. Con una relación a/c de 0.50, el cemento necesario sería 360 kg/m³. Los

áridos se calculan por volúmenes absolutos: aproximadamente 960 kg/m³ de grava (60% del volumen) y 600 kg/m³ de arena (40% del volumen). Finalmente, se ajustan las cantidades según la humedad de los áridos; por ejemplo, si la arena contiene 5% de humedad, se reducen 30 litros de agua.

Variables Regionales Críticas

Las condiciones geográficas y climáticas exigen adaptaciones específicas. En la Costa (Guayaquil, Manta), la humedad superior al 80% requiere cemento Tipo HS y reducción del 10% de agua en época lluviosa para evitar sangrado. En la Sierra (Quito, Cuenca), las temperaturas bajas (10-15°C) obligan a añadir acelerantes como Concrecel, mientras la alta radiación UV demanda hasta 10 días de curado húmedo continuo. En el Oriente (Puyo, Tena), las lluvias torrenciales hacen indispensables aditivos hidrófugos como Sika Plastiment para prevenir lavado de la mezcla. Estas variables son claves para garantizar durabilidad frente a desafíos como la salinidad costera o la erosión en zonas amazónicas. (Rafael Alvarado, 2020)

Dosificaciones Típicas para Obras Ecuatorianas

Para viviendas de dos pisos en Quito, los cimientos corridos emplean proporciones volumétricas 1:3:3 (cemento, arena, grava) con 180 litros de agua por m³, logrando unos 17 MPa de resistencia. En columnas del mismo proyecto, una dosificación de 360 kg de cemento, 600 kg de arena, 960 kg de grava y 180 litros de agua alcanza 21 MPa. En edificios altos de Guayaquil, losas postensadas requieren mezclas más exigentes: 420 kg de cemento, 560 kg de arena, 1,100 kg de grava, 168 litros de agua (relación a/c=0.40) y superplastificante para obtener 28 MPa, optimizando la resistencia ante cargas sísmicas. (Ecuador, 2014)

Control de Calidad y Errores Frecuentes

La NEC-SE-HM exige ensayos obligatorios: prueba de asentamiento con cono de Abrams (70-120 mm para vigas), rotura de probetas cilíndricas a 7 y 28 días en laboratorios acreditados como Labsa Ecuador, y análisis granulométrico de áridos según NTE INEN 857. Errores recurrentes incluyen exceso de agua (común en Quito por ajustes inadecuados a la altitud), uso de áridos contaminados con arcilla (frecuente en ríos de Manabí) y curado insuficiente en la Costa, donde debe aplicarse membrana de curado como Sika Antisol. La documentación diaria de humedad de áridos y temperatura ambiental es fundamental para trazabilidad.

Tabla 5. Tabla Comparativa de Dosificaciones Típicas por Región y Tipo de Obra

Ubicación	**Elemento**	**Cemento (kg/m³)**	**Arena (kg/m³)**	**Grava (kg/m³)**	**Agua (L/m³)**	**Aditivos**	**f'c (MPa)**
Quito	Columnas	360	600	960	180	Acelerante (Concrecel)	21
Guayaquil	Losa postensada	420	560	1,1	168	Superplastificante (Glenium)	28
Puyo	Cimientos corridos	320	650	980	175	Hidrófugo (Plastiment)	20

Nota: Elaboración Propia (2025)

2.3.7 Sismos

Teoría De Sismos

A) ¿Qué son los sismos?

LOS SISMOS Y SU IMPACTO EN LA VIDA HUMANA Y AMBIENTAL

Los sismos, también conocidos como terremotos, son fenómenos naturales que se manifiestan como vibraciones o sacudidas en la superficie terrestre. Estas sacudidas son causadas por la liberación repentina de energía acumulada en la corteza terrestre, producto del movimiento constante de las placas tectónicas. Cuando estas placas se desplazan y se traban entre sí, generan tensiones que, al liberarse bruscamente, provocan el movimiento sísmico. (Campos, 2018)

Pero los sismos no solo producen ondas que viajan por el suelo. También tienen el potencial de generar daños significativos en la infraestructura, así como poner en riesgo la vida de las personas. Además, impactan de forma considerable en el medio ambiente, provocando deslizamientos de tierra, tsunamis y alteraciones en el paisaje natural, que pueden afectar gravemente los ecosistemas y la fauna local.

Factores como la magnitud del sismo y su profundidad son determinantes en el nivel de destrucción. Generalmente, los sismos superficiales (menos de 70 km de profundidad) son más peligrosos que aquellos que ocurren a mayor profundidad. Por esta razón, comprender cómo se generan los sismos es vital para diseñar planes de desarrollo urbano, construir edificios más seguros y establecer sistemas de alerta temprana que puedan salvar vidas y minimizar pérdidas materiales.

Origen De Los Sismos

La mayoría de los sismos tiene su origen en la dinámica de la tectónica de placas, un proceso que explica cómo grandes fragmentos de la corteza terrestre conocidos como placas tectónicas se desplazan lentamente sobre el manto. Estas placas se mueven en distintas direcciones y velocidades, y cuando interactúan en sus bordes, generan fricción. Esta fricción acumula tensión que, al liberarse súbitamente, desencadena un terremoto. Estas zonas de interacción pueden ser de tres tipos:

- Zonas de subducción, donde una placa se desliza bajo otra.
- Límites divergentes, donde las placas se separan.
- Límites transformantes, donde las placas se rozan lateralmente.

Además de los sismos tectónicos, existen los sismos volcánicos, que se originan cuando el magma asciende dentro de un volcán y fractura las rocas, liberando energía. También existen los sismos inducidos por el ser humano, causados por actividades como la minería, la inyección de fluidos en el subsuelo o la construcción de grandes presas. Aunque suelen ser de menor magnitud, pueden generar daños importantes en zonas pobladas.

Estudiar el origen de los sismos permite comprender mejor su comportamiento y desarrollar estrategias efectivas para su prevención y mitigación.

Tipos De Sismos

Los sismos pueden clasificarse de acuerdo con su origen y las características de su generación. Los más comunes son los sismos tectónicos, derivados del movimiento de las placas tectónicas. Dentro de esta categoría, se distinguen tres tipos principales:

Sismos de compresión: ocurren en zonas de subducción, donde una placa se desliza debajo de otra.

Sismos de tensión: se dan en límites divergentes, donde las placas se separan.

Sismos de cizalla: tienen lugar en límites transformantes, donde las placas se deslizan lateralmente una respecto de otra. Además, existen:

- Sismos volcánicos, relacionados con el movimiento del magma dentro de los volcanes. Suelen preceder a erupciones y ser señal de actividad volcánica inminente.

- Sismos inducidos, generados por la acción humana. Aunque muchas veces son de menor intensidad, pueden causar daños significativos, especialmente en áreas densamente pobladas o con infraestructura vulnerable.

Cada tipo de sismo responde a mecanismos diferentes, lo que influye en su magnitud, duración, profundidad y capacidad destructiva.

2.3.8 PROCESO DE GENERACIÓN DE UN SISMO

El proceso mediante el cual se genera un sismo incluye varias etapas fundamentales, que culminan en la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. A continuación, se describen estas etapas:

Acumulación de Tensión

La acumulación de tensión ocurre lentamente en los límites de las placas tectónicas. Aunque el movimiento de estas placas puede ser imperceptible para nosotros, con el tiempo se genera una fricción constante que acumula energía en las rocas de la corteza terrestre.

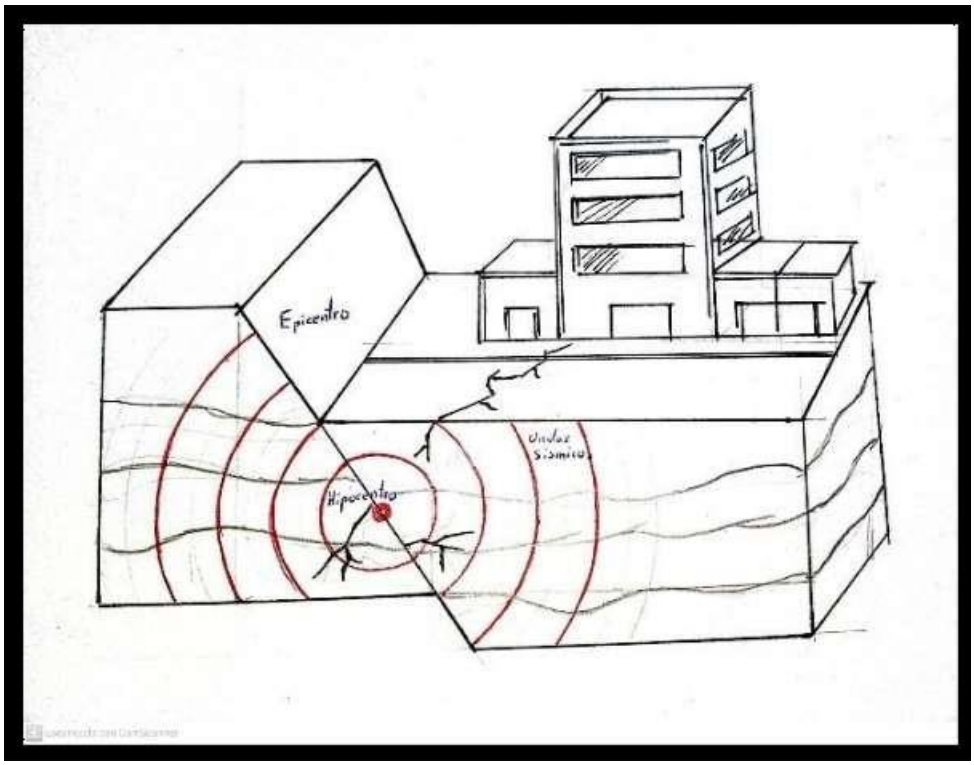
Este proceso puede durar años o incluso siglos. Durante ese tiempo, las rocas se deforman, resistiendo la tensión hasta que alcanzan su límite elástico. Es en ese punto donde la energía potencial está lista para liberarse. (Sarria Molina, 2003)

Liberación Súbita de Energía

Cuando la tensión acumulada supera la resistencia de las rocas, se produce una ruptura repentina. Esta ruptura ocurre a lo largo de una falla geológica, generando un movimiento abrupto de las rocas y liberando la energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Este es el momento exacto del sismo: las ondas se propagan en todas direcciones, haciendo vibrar el suelo. La magnitud del terremoto depende directamente de la cantidad de energía liberada y del área afectada

por la ruptura. Cuanto mayor sea la acumulación previa de tensión, más intensa será la liberación, y, por tanto, más fuerte será el terremoto. (THEURER, 2015)

figura 4.4Propagación de Ondas Sísmicas



Nota: Elaboración Propia **(2025)**

2.3.9 Propagación de Ondas Sísmicas

Una vez que se ha producido la ruptura y se ha liberado la energía, esta se propaga en forma de ondas sísmicas a través de la Tierra. Existen diferentes tipos de ondas sísmicas, incluyendo:

- **Ondas P (primarias)**: Son las primeras en llegar a los sismógrafos. Se mueven a través de sólidos, líquidos y gases, y su movimiento es compresional.
- **Ondas S (secundarias)**: Llegan después de las ondas P y solo se propagan a través de sólidos. Su movimiento es perpendicular a la dirección de propagación.
- **Ondas superficiales**: Se propagan a lo largo de la superficie de la Tierra y son responsables del mayor daño durante un terremoto.

La propagación de estas ondas sísmicas es lo que se detecta en los sismógrafos y se utiliza para medir la magnitud y la intensidad del sismo. La comprensión de este proceso es esencial para la evaluación de riesgos sísmicos y la preparación ante desastres naturales.

2.3.10 ¿QUÉ SON LAS ONDAS SÍSMICAS?

Las ondas sísmicas son vibraciones que se generan en el interior de la Tierra cuando ocurre un sismo y se propagan a través de las diferentes capas del planeta. Estas ondas son el resultado de la liberación de energía acumulada en las rocas debido al movimiento constante de las placas tectónicas. Cuando esa energía se libera bruscamente, se transforma en ondas que viajan por el interior y la superficie terrestre. (Sellés-Martínez, 2020)

Estas vibraciones pueden ser registradas por instrumentos especiales llamados sismógrafos, que permiten detectar no solo la ocurrencia del evento, sino también su intensidad, profundidad y localización. El estudio de las ondas sísmicas es fundamental para comprender la naturaleza de los terremotos y evaluar su impacto potencial en la superficie terrestre.

Existen tres tipos principales de ondas sísmicas, pero en esta sección abordaremos con mayor profundidad las ondas P, que son las primeras en manifestarse durante un sismo.

Ondas P (Primarias)

Las ondas P, también conocidas como ondas primarias, son las más rápidas y las primeras en llegar a los sismógrafos cuando ocurre un sismo. Se caracterizan por tener un movimiento longitudinal, es decir, las partículas del material por donde viajan se desplazan en la misma dirección en que se propaga la onda.

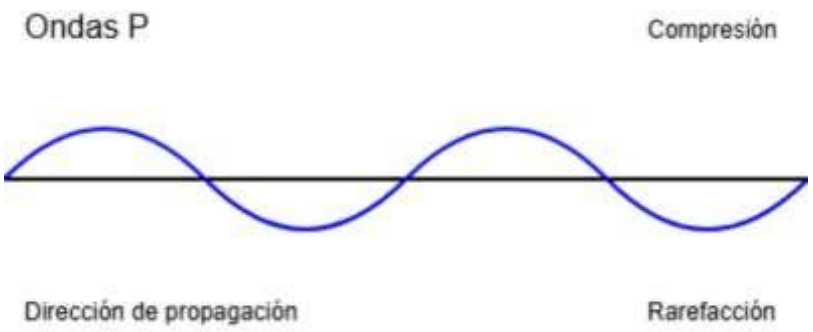
Este tipo de onda tiene la capacidad de viajar a través de sólidos, líquidos y gases, lo que las convierte en una herramienta clave para que los científicos estudien el interior de la Tierra. Gracias a su velocidad y comportamiento, las ondas P proporcionan información valiosa sobre la

estructura interna del planeta, como la existencia de diferentes capas con distintas densidades y composiciones.

Cuando una onda P se desplaza, genera compresiones y expansiones en el material que atraviesa, como si fuera un resorte que se comprime y se estira. Aunque este movimiento suele ser imperceptible para las personas, es crucial para la detección temprana de terremotos, ya que su rápida llegada puede activar los sistemas de alerta sísmica antes de que lleguen ondas más destructivas.

En resumen, las ondas P no solo ayudan a comprender mejor los terremotos, sino que también juegan un papel fundamental en la investigación geológica, permitiendo a los expertos mapear el interior de la Tierra y mejorar la capacidad de respuesta ante emergencias sísmicas.

figura 4.5 Ondas P



Nota: *Elaboración Propia (2025)*

1. **Ondas S (Secundarias)**

Las ondas sísmicas son vibraciones que se generan dentro de la Tierra durante un sismo y se propagan a través de sus distintas capas. Estas ondas se originan cuando se libera la energía acumulada en las rocas por el movimiento de las placas tectónicas, y viajan por el interior del planeta y hacia la superficie, generando los efectos que sentimos como temblores o terremotos.

Gracias a instrumentos llamados sismógrafos, es posible detectar y registrar estas ondas, lo que permite a los científicos estudiar la magnitud, la profundidad y el epicentro de un evento sísmico. Las ondas sísmicas no solo nos permiten entender cómo ocurren los terremotos, sino que también ofrecen información valiosa sobre la estructura interna de la Tierra.

Existen diferentes tipos de ondas sísmicas, cada una con características particulares. Entre ellas, las ondas P y las ondas S son las más importantes para el análisis científico.

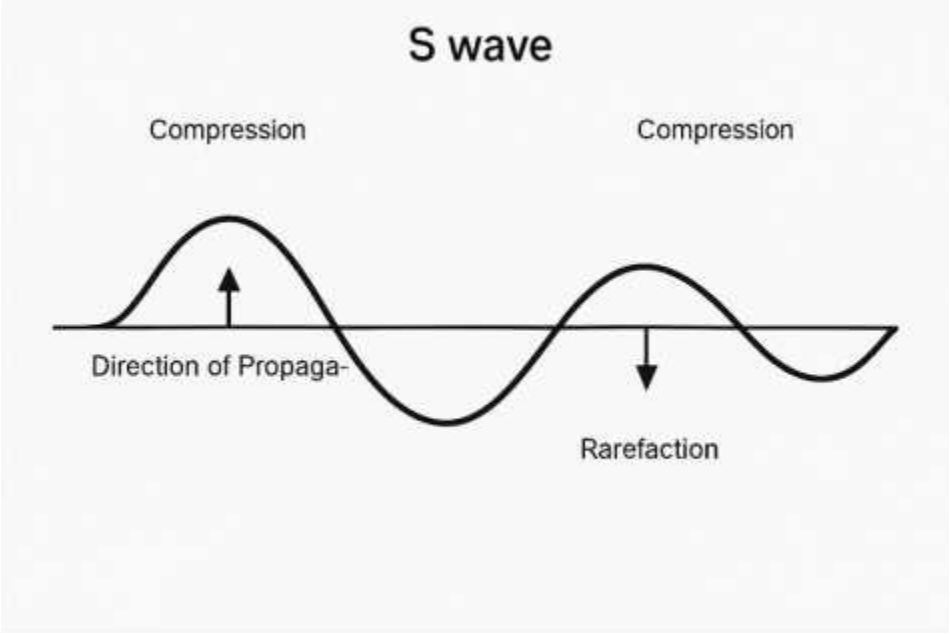
Ondas S (Secundarias)

Las ondas S, ondas secundarias, son el segundo tipo de onda sísmica que se detecta después de un terremoto. Se diferencian de las ondas P por su tipo de movimiento: mientras las ondas P desplazan las partículas del terreno en la misma dirección que avanzan, las ondas S generan un movimiento transversal, es decir, las partículas del material vibran de forma perpendicular a la dirección en la que se propaga la onda. Esto provoca un efecto de movimiento de vaivén o de lado a lado, que puede sentirse con mayor intensidad.

Las ondas S son más lentas que las ondas P, lo que explica por qué siempre llegan después a los sismógrafos. Una de sus características más importantes es que solo se propagan a través de materiales sólidos, lo que significa que no pueden viajar por líquidos ni gases. Esta propiedad ha sido clave para que los científicos descubran, por ejemplo, que el núcleo externo de la Tierra es líquido, ya que las ondas S no logran atravesarlo.

Cuando llegan a la superficie, las ondas S son responsables de una gran parte de los daños estructurales que se producen en edificaciones e infraestructuras. Su movimiento transversal es especialmente peligroso para construcciones que no han sido diseñadas con criterios sismo-resistentes. Por ello, el estudio de las ondas S es fundamental para entender el comportamiento de un sismo, evaluar su potencial destructivo y diseñar medidas de prevención adecuadas.

figura 4.6 Ondas S



Nota: Elaboración Propia (2025)

2. Ondas superficiales:

Las ondas superficiales son un tipo de onda sísmica que, a diferencia de las ondas P y S que viajan a través del interior de la Tierra, se propagan a lo largo de su superficie. Estas ondas se generan cuando las ondas internas (P y S) llegan a la corteza terrestre y su energía se transforma, extendiéndose horizontalmente sobre el terreno. Son las responsables de la mayor parte del daño visible durante un terremoto, ya que su movimiento intenso afecta directamente a las construcciones, el suelo y otras infraestructuras. Su comportamiento es más complejo que el de las ondas que viajan por el interior, y sus efectos suelen ser más prolongados y destructivos.

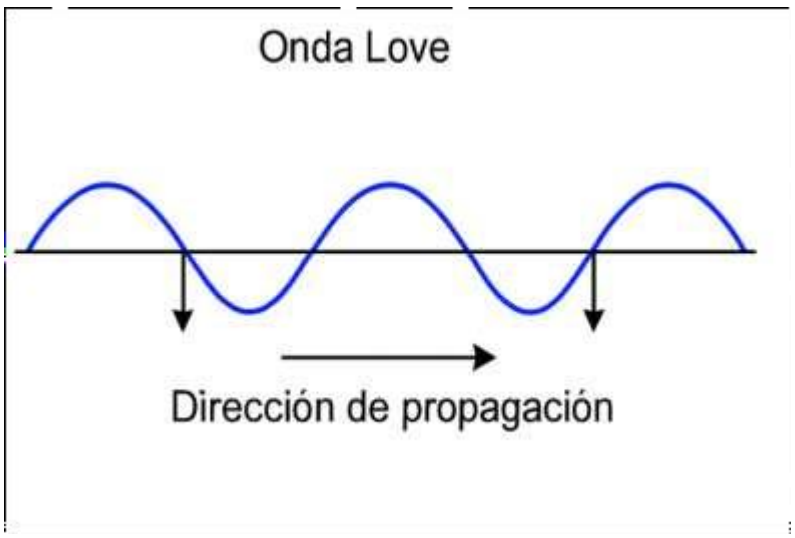
Existen dos tipos principales de ondas superficiales: las ondas Love y las ondas Rayleigh, cada una con características particulares que influyen en la forma en que se perciben y en los efectos que causan.

3.1 Ondas Love

Las ondas Love son un tipo de onda superficial que se caracteriza por un movimiento horizontal. Específicamente, hacen que las partículas del suelo se desplacen de lado a lado, en dirección perpendicular al avance de la onda. Este movimiento lateral puede ser especialmente destructivo para edificaciones que no están diseñadas para soportar fuerzas horizontales.

Una de las particularidades de las ondas Love es que viajan más rápido que las ondas Rayleigh, por lo que suelen ser las primeras ondas superficiales en llegar a los sismógrafos. Su velocidad y su capacidad para producir movimientos intensos en la superficie las convierten en un elemento clave para evaluar el impacto destructivo de un sismo. Estas ondas no provocan desplazamiento vertical, pero su efecto puede ser devastador, especialmente en zonas urbanas con alta densidad de estructuras rígidas.

figura 4.7 Onda Love



Nota: Elaboración Propia (2025)

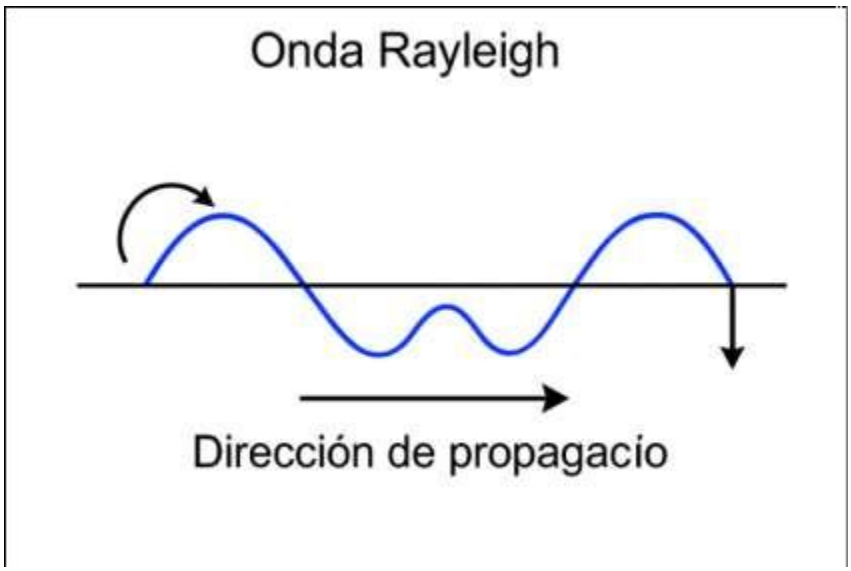
3.2 Ondas Rayleigh

Las ondas Rayleigh son otro tipo de onda superficial que se propagan a lo largo de la superficie terrestre, y su comportamiento se asemeja al de las olas en el mar. Este tipo de onda genera un movimiento elíptico retrógrado en las partículas del suelo, lo que significa que las

partículas se mueven simultáneamente hacia arriba, hacia abajo y de forma lateral conforme la onda avanza. Este movimiento circular y complejo produce vibraciones intensas en la superficie, que pueden provocar daños severos en edificaciones, especialmente en aquellas que no están adecuadamente diseñadas para resistir movimientos multidireccionales.

Las ondas Rayleigh, junto con las ondas Love, son responsables de la mayor parte de la energía destructiva que se libera durante un terremoto. Comprender su comportamiento es fundamental para evaluar el impacto real de un sismo en la superficie terrestre y mejorar el diseño de estructuras resistentes.

figura 4.8 Onda Rayleigh



Nota: Elaboración Propia (2025)

2.3.11 Escalas de Medición de Terremotos

Para poder comprender y evaluar correctamente la magnitud e impacto de un terremoto, es fundamental contar con herramientas que nos permitan medir la energía liberada y los efectos producidos en la superficie terrestre. En este contexto, se han desarrollado distintas escalas de medición sísmica, siendo las más utilizadas la Escala de Richter y la Escala de Mercalli.

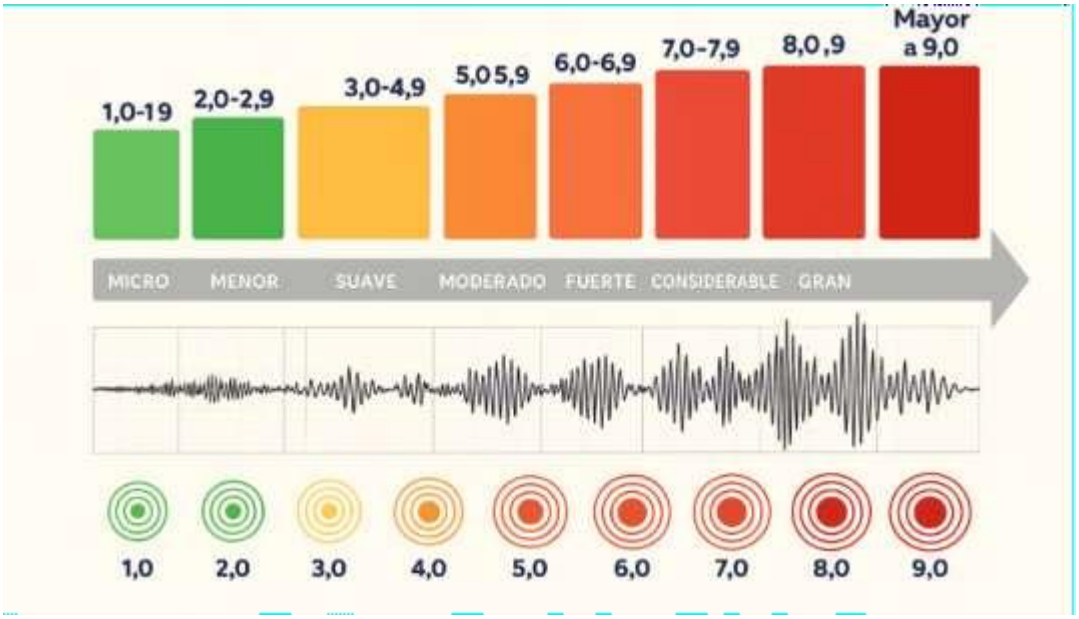
Ambas aportan información clave, aunque desde enfoques diferentes: una cuantifica la energía del sismo y la otra describe los efectos percibidos por las personas y observados en las estructuras.

Escala de Richter

La Escala de Richter fue desarrollada en 1935 por el sismólogo estadounidense Charles F. Richter con el objetivo de medir la magnitud de un terremoto, es decir, la cantidad de energía que se libera en el foco sísmico. Esta escala es de tipo logarítmico, lo que significa que cada punto adicional representa un aumento exponencial en la intensidad del sismo. Por ejemplo, un terremoto de magnitud 6 en la escala de Richter libera aproximadamente 10 veces más amplitud de onda y 31.6 veces más energía que uno de magnitud 5. Por lo tanto, pequeñas diferencias en el número pueden traducirse en impactos significativamente mayores.

La Escala de Richter es especialmente útil para comparar terremotos entre sí, independientemente de dónde se hayan producido, ya que se basa en datos técnicos obtenidos por sismógrafos. Sin embargo, esta escala no refleja directamente los daños o efectos en la población, por lo que suele complementarse con otras medidas más cualitativas, como la Escala de Mercalli. (Universidad Industrial de Santander, 2018)

figura 4.9 Escala de Richter



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Tabla 6. Escala de Richter nominal

1-1,9	2-2,9	3-4,9	5-5,9	6-6,9	7-7,9	8-9	9
Micro	Menor	Suave	Moderado	Fuerte	Considerable	Gran	

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Escala de Mercalli

A diferencia de la Escala de Richter, la Escala de Mercalli mide los efectos y daños causados por un terremoto en un área determinada. Desarrollada por Giuseppe Mercalli en 1902, esta escala se basa en observaciones cualitativas y en testimonios de personas que experimentaron el sismo. La Escala de Mercalli va del I al XII, donde I indica que el sismo fue imperceptible y XII representa una destrucción total.

Esta escala es útil para evaluar el impacto de un terremoto en diferentes regiones, ya que considera factores como la intensidad del temblor, el tipo de suelo, la construcción de edificios y la proximidad al epicentro. La Escala de Mercalli proporciona una visión más completa de cómo un sismo afecta a las comunidades y sus infraestructuras.

Tabla 7. Escala Sísmica Modificada de Mercalli

Escala Sísmica Modificada de Mercalli	**Descripción**
1. Imperceptible	Microsismo, detectado únicamente por instrumentos
2. Muy Leve	Sentido por algunas personas, generalmente en reposo
3. Leve	Sentido por algunas personas dentro de edificios
4. Moderado	Sentido por algunas personas fuera de edificios
5. Poco Fuerte	Sentido por casi todos
6. Fuerte	Sentido por todos
7. Muy Fuerte	Las construcciones sufren daño moderado
8. Destructivo	Daños considerables en estructuras
9. Muy Destructivo	Daños graves y pánico general
10. Desastroso	Destrucción en edificios bien construidos
11. Muy Desastroso	Casi nada queda en pie
12.Catastrófico	Destrucción total

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

2.3.12 Zonas de Mayor Actividad Sísmica

Las zonas de mayor actividad sísmica son regiones donde los terremotos son más frecuentes y severos. Las zonas con mayor actividad sísmica están estrechamente relacionadas con la dinámica de la tectónica de placas y otros procesos geológicos que ocurren bajo la superficie terrestre. Estas regiones concentran una gran parte de los terremotos que se registran a nivel mundial, y su estudio es clave para la prevención de desastres naturales. A continuación, se describe una de las más importantes:

El Cinturón de Fuego del Pacífico

El Cinturón de Fuego del Pacífico es la región con mayor actividad sísmica y volcánica del planeta. Se extiende en forma de herradura a lo largo del borde del océano Pacífico, pasando por países como Chile, Perú, México, Estados Unidos, Canadá, Japón, Indonesia, Nueva Zelanda y muchos más. Esta zona es conocida por la frecuencia e intensidad de los terremotos y erupciones volcánicas que en ella se producen. Su origen está en la convergencia de varias placas tectónicas, donde placas oceánicas se deslizan por debajo de placas continentales en un proceso llamado subducción. Esta interacción genera una acumulación constante de tensiones que, al liberarse, provocan terremotos. (MENDOZA, 2016)

La actividad sísmica en el Cinturón de Fuego ha tenido consecuencias devastadoras a lo largo de la historia. Sin embargo, también ha impulsado importantes avances en ingeniería sismo-resistente, monitoreo geológico y planes de emergencia, especialmente en los países ubicados dentro de esta franja.

Comprender cómo funciona esta zona sísmicamente activa es fundamental para prevenir desastres, proteger vidas humanas y desarrollar ciudades más resilientes frente a fenómenos naturales.

figura 4.10 Cinturón de Fuego



Fuente: Rafael Galeth

2.3.13 Límites de Placas Tectónicas

Los límites de placas tectónicas son las fronteras donde interactúan las diferentes placas que forman la litosfera terrestre. Estos límites pueden ser de tres tipos: convergentes, divergentes y transformantes. (Carlos Fernández1, 2019)

Límites convergentes: Donde dos placas se acercan y una se subduce bajo la otra, generando terremotos potentes y actividad volcánica.

Límites divergentes: Donde las placas se separan, creando nueva corteza oceánica y, en ocasiones, terremotos de menor magnitud.

Límites transformantes: Donde las placas se deslizan lateralmente una respecto a la otra, como es el caso de la falla de San Andrés en California, provocando terremotos significativos.

La actividad sísmica en estas zonas es común y está directamente relacionada con el movimiento de las placas tectónicas.

Zonas de Subducción

Las zonas de subducción son áreas donde una placa tectónica se hunde bajo otra, creando condiciones propensas para la generación de terremotos. Estas zonas son particularmente activas, ya que la fricción entre las placas puede acumularse durante largos períodos, liberándose repentinamente en forma de sismos.

Las zonas de subducción son responsables de algunos de los terremotos más poderosos registrados en la historia, así como de la formación de montañas y arcos volcánicos. Ejemplos notables de zonas de subducción incluyen la costa del Pacífico de América del Sur, donde la placa de Nazca se subduce bajo la placa sudamericana, y la zona de subducción de Japón, donde la placa del Pacífico se hunde bajo la placa euroasiática. La comprensión de estas zonas es crucial para la evaluación de riesgos sísmicos y la preparación ante desastres.

2.3.14 Elementos de Estudio de los Sismos

Epicentro: El epicentro es el punto en la superficie terrestre que se encuentra directamente sobre el hipocentro, que es el lugar donde se origina el sismo. El epicentro se asocia con la mayor intensidad de las ondas sísmicas y, por lo general, es donde se produce la mayor destrucción durante un terremoto. La localización del epicentro es crucial para evaluar el impacto de un terremoto en áreas específicas y se utiliza en los informes para informar a la población sobre la ubicación del evento sísmico. Para determinar el epicentro, se utilizan datos de múltiples estaciones sismográficas. Al analizar el tiempo que tardan las ondas sísmicas en llegar a cada estación, se puede triangular la ubicación del epicentro.

Hipocentro: El hipocentro, también conocido como foco, es el punto exacto dentro de la Tierra donde se origina un sismo. Este punto se encuentra bajo la superficie y es donde se produce la ruptura de las rocas que genera la liberación de energía. La profundidad del hipocentro varía

según el tipo de sismo, pudiendo estar a pocos kilómetros bajo la superficie o a decenas de kilómetros de profundidad. La profundidad del hipocentro influye en la intensidad y el tipo de daño causado en la superficie. Mientras que el epicentro se refiere a la ubicación en la superficie, el hipocentro proporciona información sobre la profundidad y el contexto geológico del sismo. Ambos elementos son fundamentales para entender la dinámica de los terremotos y sus efectos en la superficie terrestre.

2.3.15 Consecuencias de los Sismos

Los sismos pueden tener diversas consecuencias, que van desde daños inmediatos en la infraestructura hasta impactos ambientales y sociales a largo plazo. Estas consecuencias pueden variar en intensidad y naturaleza, dependiendo de la magnitud del sismo y de las características geológicas de la región afectada. A continuación, se presentan algunas de las consecuencias más significativas de los sismos.

Movimientos Telúricos

Los movimientos telúricos son uno de los efectos más inmediatos y evidentes de un sismo. Estos movimientos se producen cuando las placas tectónicas se desplazan de manera brusca, generando vibraciones que se propagan a través de la tierra. La intensidad de estos movimientos puede variar significativamente, afectando tanto a la infraestructura como a la vida cotidiana de las personas. En áreas cercanas al epicentro, los movimientos pueden ser devastadores, causando daños estructurales en edificios, puentes y carreteras.

Además, los movimientos telúricos pueden provocar la ruptura de tuberías y redes eléctricas, lo que complica aún más la situación tras un sismo. Las réplicas, que son temblores menores que ocurren después del evento principal, también pueden causar miedo y ansiedad en la población. La respuesta inmediata a estos movimientos es crucial para garantizar la seguridad de

las personas y facilitar el rescate de aquellos que puedan haber quedado atrapados. La preparación y la educación sobre cómo actuar durante un sismo son vitales para mitigar sus efectos.

Tsunamis

Los tsunamis son olas gigantes que pueden ser generadas por sismos submarinos y representan una de las consecuencias más destructivas de estos eventos. Cuando un sismo ocurre en el fondo del océano, la energía liberada puede desplazar grandes volúmenes de agua, creando olas que se propagan a gran velocidad. Al llegar a las costas, estas olas pueden alcanzar alturas devastadoras, inundando áreas costeras y causando daños masivos a la infraestructura y a la vida humana. La rapidez con la que se producen los tsunamis a menudo deja poco tiempo para la evacuación.

La devastación causada por un tsunami no solo se limita a las olas iniciales; las corrientes posteriores y las inundaciones pueden arrastrar objetos pesados y destruir edificaciones. Además, los tsunamis pueden contaminar fuentes de agua y causar desastres ambientales, afectando la fauna y la flora de las zonas impactadas. La preparación y los sistemas de alerta temprana son esenciales para minimizar el impacto de los tsunamis y proteger a las comunidades costeras de sus efectos devastadores.

Deslizamientos de Tierra

Los deslizamientos de tierra son otra consecuencia significativa de los sismos, especialmente en áreas montañosas o con pendientes pronunciadas. La vibración del suelo puede desestabilizar el terreno, provocando que grandes masas de tierra se deslicen colina abajo. Estos deslizamientos pueden destruir viviendas, carreteras y otras infraestructuras, además de poner en peligro la vida de las personas que se encuentren en la zona afectada. La combinación de lluvia y

sismos puede aumentar la probabilidad de deslizamientos, ya que el agua puede saturar el suelo y debilitar su estructura. (ALCÁNTARA AYALA, 2000)

Además de los daños inmediatos, los deslizamientos de tierra pueden tener consecuencias a largo plazo en el ecosistema local. La erosión del suelo puede afectar la calidad del terreno para la agricultura y alterar los cursos de ríos y arroyos. La recuperación de las áreas afectadas puede ser un proceso prolongado y costoso, lo que resalta la importancia de la planificación y la gestión del riesgo en regiones propensas a deslizamientos de tierra.

Licuefacción del Suelo

La licuefacción del suelo es un fenómeno que ocurre cuando un sismo provoca que el suelo saturado de agua pierda su cohesión y se comporte como un líquido. Este proceso puede llevar a que edificios y estructuras que están construidos sobre sedimentos inestables se hundan o se desplacen, causando daños significativos. La licuefacción es más común en suelos arenosos y arcillosos, donde la presión del agua intersticial aumenta durante un sismo. Este fenómeno puede resultar en la destrucción de infraestructuras críticas, como puentes y carreteras, y pone en riesgo la seguridad de las personas.

Además de los daños inmediatos, la licuefacción puede tener efectos a largo plazo en la estabilidad del terreno. Las áreas afectadas pueden volverse inadecuadas para la construcción futura, lo que limita el desarrollo urbano y puede resultar en pérdidas económicas significativas.

2.4 Legal

2.4.1 Legislación sobre Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador

En el marco de la legislación ecuatoriana, se destaca la **Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo**, que establece directrices para la planificación urbana y la gestión de riesgos naturales, incluyendo sismos. Esta ley busca asegurar que el desarrollo urbano considere la vulnerabilidad sísmica, promoviendo edificaciones seguras y resilientes. Además, el **Código Civil Ecuatoriano** incluye disposiciones que responsabilizan a los constructores y propietarios de garantizar que las edificaciones cumplan con las normativas de seguridad sismo-resistentes, estableciendo que cualquier construcción debe ser diseñada y ejecutada conforme a estándares técnicos que minimicen los riesgos sísmicos.

2.4.2 Reglamento al Código Orgánico de Construcción

El **Reglamento al Código Orgánico de Construcción** establece criterios técnicos y procedimientos para el diseño y construcción de edificaciones sismo-resistentes. Entre sus artículos más relevantes se encuentran:

- **Artículo 1**: Establece la obligatoriedad de aplicar normas técnicas que aseguren la resistencia sísmica de las edificaciones, considerando las características del terreno y los materiales utilizados.
- **Artículo 2**: Clasifica las zonas del país según su nivel de riesgo sísmico, permitiendo que los requisitos de diseño se adapten a las particularidades de cada región.
- **Artículo 3**: Define los procedimientos de revisión y aprobación de proyectos de construcción, asegurando que sean evaluados por profesionales calificados que verifiquen el cumplimiento de las normativas.

- **Artículo 4**: Promueve la capacitación de los profesionales de la construcción en temas de sismo-resistencia, así como la certificación de materiales, garantizando que cumplan con los estándares de calidad necesarios.

2.4.3 Ley de Gestión de Riesgos.

La **Ley de Gestión de Riesgos** (Ley N° 2013-10) establece un marco normativo integral para la gestión de riesgos en Ecuador, incluyendo los riesgos sísmicos. Esta ley busca promover la prevención, mitigación y preparación ante desastres naturales. Algunos puntos clave incluyen:

- **Artículo 5**: Define los principios de la gestión de riesgos, como la participación comunitaria, la integración de la gestión de riesgos en el desarrollo sostenible y el enfoque de género.
- **Artículo 12**: Establece la obligación de las instituciones públicas y privadas de implementar planes de contingencia y protocolos de respuesta ante eventos sísmicos.
- **Artículo 18**: Promueve la educación y capacitación de la población sobre la gestión de riesgos, fomentando la cultura de prevención y seguridad.

2.4.4 Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE).

La **Normativa Técnica Ecuatoriana** (NTE) incluye una serie de estándares y códigos que regulan la construcción de edificaciones. En el contexto de la sismo-resistencia, destacan:

- **NTE E-030**: Este estándar establece los requisitos para el diseño y construcción de estructuras sismo-resistentes, proporcionando directrices sobre métodos de análisis, materiales y técnicas constructivas.
- **NTE E-060**: Se enfoca en la evaluación de la capacidad estructural de edificios existentes, permitiendo determinar su vulnerabilidad ante sismos y establecer medidas de mejora.

2.4.5 Programas de Capacitación y Concienciación.

El gobierno ecuatoriano, a través de entidades como el **Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE)**, implementa programas de capacitación y concienciación sobre la importancia de la sismo-resistencia. Estos programas buscan:

- **Fomentar la cultura de prevención**: Promoviendo prácticas seguras en la construcción y el uso de edificaciones.
- **Desarrollar simulacros de evacuación**: Para preparar a la población ante posibles eventos sísmicos.
- **Capacitar a profesionales**: En las últimas técnicas y normativas de construcción sismo-resistente.

2.4.6 Iniciativas Internacionales.

Ecuador también participa en diversas iniciativas internacionales que promueven la reducción de riesgos ante desastres naturales, como:

- **El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres**: Un acuerdo global que busca reducir la vulnerabilidad y mejorar la resiliencia de las comunidades ante desastres.
- **Colaboraciones con organismos internacionales**: Como la ONU y la OEA, que apoyan en la implementación de buenas prácticas y normativas en gestión de riesgos.

2.4.7 Estrategias de Mitigación.

Las estrategias de mitigación son esenciales para reducir el impacto de los sismos en la población y las infraestructuras. Algunas de las estrategias implementadas en Ecuador incluyen:

- **Evaluación de Riesgos**: Realización de estudios geológicos y sísmicos para identificar áreas de alto riesgo y vulnerabilidad. Esta información es crucial para la planificación urbana y la ubicación de nuevas edificaciones.

- **Mejoramiento de Infraestructuras**: Implementación de programas de rehabilitación y refuerzo de infraestructuras críticas, como hospitales, escuelas y puentes, para que sean más resistentes a los sismos.
- **Zonificación de Riesgo**: Establecimiento de zonas de exclusión o restricciones de construcción en áreas de alto riesgo sísmico, protegiendo así a la población y a las propiedades.

2.4.8 Participación Comunitaria.

La participación de la comunidad es un componente clave en la gestión de riesgos sísmicos. Algunas iniciativas incluyen:

- **Comités de Gestión de Riesgos**: Formación de comités locales que involucren a la comunidad en la identificación de riesgos y en la elaboración de planes de contingencia.
- **Educación y Sensibilización**: Campañas educativas para informar a la población sobre cómo prepararse ante un sismo, incluyendo la elaboración de kits de emergencia y la planificación de rutas de evacuación.
- **Simulacros Comunitarios**: Realización de simulacros de evacuación y respuesta ante sismos, para practicar y mejorar la capacidad de reacción de la comunidad.

2.4.9 Cooperación Internacional.

Ecuador ha establecido vínculos con diversas organizaciones y países para fortalecer su capacidad de respuesta ante desastres. Algunos ejemplos son:

- **Asistencia Técnica**: Colaboración con organismos como la Cruz Roja y la ONU para recibir capacitación y asistencia técnica en gestión de riesgos.

- **Intercambio de Conocimientos**: Participación en foros y conferencias internacionales para compartir experiencias y aprender de las mejores prácticas en la gestión de riesgos sísmicos.
- **Financiamiento de Proyectos**: Obtención de fondos internacionales para implementar proyectos de infraestructura y capacitación en gestión de riesgos.

2.4.10 Desafíos y Oportunidades.

A pesar de los avances en la legislación y la gestión de riesgos sísmicos, Ecuador enfrenta varios desafíos:

- **Falta de Recursos**: La escasez de financiamiento para implementar todas las normativas y programas necesarios puede limitar la efectividad de las medidas de mitigación.
- **Conciencia Pública**: Aunque hay programas de educación, la conciencia sobre la importancia de la sismo-resistencia aún no es universal, lo que puede llevar a prácticas de construcción inseguras.
- **Cambio Climático**: Los efectos del cambio climático pueden exacerbar los riesgos sísmicos, por lo que es fundamental integrar la gestión de riesgos sísmicos con la adaptación al cambio climático.

2.5.1 Conceptual

Resiliencia estructural: La resiliencia estructural en ingeniería sísmica se entiende como la capacidad de una infraestructura para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los impactos de eventos perturbadores como terremotos. Según **Bruneau et al. (2003),** la resiliencia implica minimizar las pérdidas humanas, económicas y sociales, asegurando una recuperación rápida de las funciones esenciales de una comunidad tras un desastre. (Milián, 2022)

Vulnerabilidad sísmica: La vulnerabilidad sísmica es la susceptibilidad de una estructura a sufrir daños significativos debido a eventos sísmicos. Este concepto abarca tanto las características estructurales (materiales, diseño y la calidad de los materiales) como las condiciones del entorno. Según **Bonnet (2003),** la vulnerabilidad sísmica de una estructura se define como la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño. (Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria, 2015)

Evaluación de riesgos: La evaluación de riesgos es un proceso crítico en la gestión de desastres que permite identificar y analizar las amenazas a las infraestructuras. Según estudios de **Métodos de Administración y Evaluación de Riesgos** el proceso de evaluación de riesgos tiene como objetivo estimar el impacto de aquellos riesgos que podrían interferir con las operaciones normales de una entidad y recopilar los datos necesarios para que la organización pueda tomar una decisión adecuada respecto a la necesidad de medidas preventivas. (Jessica García Hanson, Paola Salazar Escobar, 2005)

Metodologías de evaluación: Existen diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica, como el método SARA, que utiliza taxonomías basadas en materiales y condiciones del terreno. En el documento de **METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE EDIFICACIONES DE HORMIGON ARMADO EXISTENTE** mención que la valoración de la vulnerabilidad a terremotos debe comenzar con un enfoque cualitativo y, si este no se logra, entonces se recurre al enfoque cuantitativo, que se complementa con un análisis más detallado, dado que puede incluir tanto un estudio estructural Lineal como no lineal. (José Daniel Benjamín Hernández, Sidney Antonio Lockhart Castro, 2011)

Normativas de construcción: Las normativas de construcción, como la NEC-15, establecen criterios técnicos para garantizar la seguridad estructural ante eventos sísmicos. Según **Cruz et al. (2019),** estas regulaciones son esenciales para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones. (Normativa Ecuatoriana de Construcción: NEC-15)

Participación comunitaria: La participación de la comunidad es crucial en la gestión de riesgos sísmicos. La Ley de Gestión de Riesgos en Ecuador establece la importancia de involucrar a la población en la preparación y respuesta ante desastres, promoviendo la educación y la capacitación.

2.5.1 Glosario:

Amenaza múltiple: Combinación de varios riesgos naturales o antropogénicos que pueden afectar a una comunidad o estructura simultáneamente.

Análisis de desempeño estructural: Evaluación del comportamiento de una estructura bajo diversas condiciones de carga, incluyendo sismos.

Capacidad de resiliencia: Habilidad de una comunidad o estructura para recuperarse de un evento disruptivo como un terremoto.

Cinturón de Fuego del Pacífico: Región sísmicamente activa que rodea el océano Pacífico, donde se concentran numerosos terremotos y actividad volcánica.

Epicentro: Punto en la superficie terrestre directamente sobre el foco de un terremoto.

Escala de Mercalli: Mide los efectos y daños causados por un terremoto en una escala cualitativa del I al XII.

Escala de Richter: Mide la magnitud de un sismo calculando en la energía liberada.

Hipocentro: Punto de origen de un terremoto bajo la superficie terrestre.

Licuefacción del suelo: Fenómeno en el cual el suelo saturado de agua pierde su cohesión y se comporta como un líquido durante un sismo.

Normativa NEC-15: Normativa Ecuatoriana de Construcción que establece estándares para estructuras sismo-resistentes.

Resiliencia estructural: Capacidad de una infraestructura para resistir, adaptarse y recuperarse de eventos sísmicos.

Sismos tectónicos: Terremotos causados por el movimiento de las placas tectónicas.

Sismos volcánicos: Terremotos causados por el movimiento del magma en un volcán.

Sistema de alerta temprana: Conjunto de herramientas y procedimientos diseñados para detectar amenazas y emitir avisos oportunos para prevenir daños.

Tsunami: Ola gigante generada por un sismo submarino, con gran capacidad destructiva al alcanzar la costa.

Vulnerabilidad estructural: Predisposición de una estructura a sufrir daños debido a su diseño o materiales frente a un sismo.

Vulnerabilidad funcional: Capacidad de un edificio para mantener sus operaciones críticas durante y después de un evento sísmico.

Vulnerabilidad no estructural: Elementos de un edificio que no forman parte del sistema principal de soporte, pero que pueden ser afectados por un sismo.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

Dentro de la investigación empleamos una metodología de enfoque mixto, que combina elementos tanto cualitativos como cuantitativos para evaluar la vulnerabilidad sísmica del edificio extensión San Miguel, bloque principal de la Universidad Estatal de Bolívar. Este enfoque permite realizar una evaluación integral al incorporar análisis estructurales y funcionales basados en datos técnicos y normativos junto con interpretaciones teóricas que abordan el contexto geográfico, histórico y social de la infraestructura. La inclusión de simulaciones de escenarios sísmicos aporta rigor cuantitativo, mientras que el análisis de antecedentes y normativas refuerza el marco cualitativo del estudio.

La metodología se sustenta en técnicas como el análisis de desempeño estructural, la simulación dinámica y el uso de modelos tridimensionales, las cuales se complementan con la revisión bibliográfica de investigaciones previas y la consulta de normativas locales e internacionales. Esto garantiza que los resultados obtenidos no solo sean técnicamente precisos, sino también relevantes para la toma de decisiones en la gestión de riesgos de desastres y la planificación de medidas de resiliencia.

3.2 Enfoque de la investigación

La investigación se basa en un enfoque cuantitativo ya que su objetivo principal es **caracterizar y analizar las condiciones actuales** del Edificio extensión San Miguel bloque principal de la Universidad Estatal de Bolívar para determinar sus vulnerabilidades estructurales y funcionales ante movimientos sísmicos. Este enfoque permite recopilar, organizar y presentar información detallada sobre los elementos críticos del edificio, como sus materiales, diseño,

condiciones físicas y factores ambientales, estableciendo una base sólida para entender las causas del deterioro y los riesgos asociados.

Además, al proporcionar una descripción clara y objetiva del contexto geográfico y la relevancia operativa del edificio, se asegura que las evaluaciones y propuestas de mejora estén fundamentadas en un diagnóstico preciso y comprensible. Este nivel de detalle es esencial para identificar los puntos débiles que requieren intervención, garantizar el cumplimiento de normativas sismo-resistentes y proponer soluciones efectivas que contribuyan a la resiliencia del edificio y la seguridad de sus ocupantes.

3.3 Métodos de Investigación

Las metodologías que se van a utilizar en el estudio son de tipo inductiva, analítica y con un enfoque mixto, que comprende lo cuantitativo y lo cualitativo. La aproximación será inductiva porque se partirá de la observación y recopilación de datos específicos y detallados sobre los elementos estructurales del edificio Extensión Universitaria de la UEB. Esto implica la realización de mediciones directas, como la evaluación de la resistencia de los materiales con un esclerómetro, la inspección de fisuras, el análisis de la configuración estructural y la identificación de posibles patologías en cada elemento. A partir de esta información particular y concreta, se buscarán patrones, tendencias y correlaciones que permitan formular conclusiones generales sobre la vulnerabilidad sísmica global de la edificación. Se ascenderá desde lo particular y empírico hacia afirmaciones más amplias y teóricas sobre el comportamiento sísmico.

Paralelamente, la metodología será analítica porque el estudio requiere la descomposición del problema complejo de la vulnerabilidad sísmica en sus elementos más simples y manejables para un examen detallado. Se desglosarán los distintos elementos estructurales (columnas, vigas, muros, cimentación, etc.), sus propiedades mecánicas, su estado de conservación y su interacción

dentro del sistema estructural. El análisis permitirá comprender cómo cada parte contribuye individualmente a la vulnerabilidad general, identificando las causas y efectos de posibles deficiencias. Esta desagregación facilitará una evaluación exhaustiva y sistemática de cada factor influyente.

Finalmente, el estudio empleará un enfoque mixto, cuantitativo y cualitativo. La parte cuantitativa se manifestará en la recolección y análisis de datos numéricos y medibles, como los resultados del esclerómetro que arrojan valores de resistencia de los materiales, las dimensiones de los elementos estructurales o los datos obtenidos de cálculos ingenieriles para determinar la capacidad resistente. Estos datos permitirán cuantificar la vulnerabilidad y establecer niveles de riesgo. Por otro lado, la vertiente cualitativa se evidenciará en la descripción y la interpretación de aspectos no numéricos, como la observación de daños visibles (grietas, corrosión), la identificación de características arquitectónicas o constructivas que puedan influir en la vulnerabilidad, o la valoración de la configuración estructural en términos de su desempeño sísmico esperado. La integración de ambos enfoques permitirá una comprensión profunda y holística de la vulnerabilidad sísmica, combinando la precisión de los datos numéricos con la riqueza interpretativa de las observaciones cualitativas para ofrecer un panorama completo y robusto de la situación.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

Para la recopilación de datos en el análisis de vulnerabilidad sísmica del Edificio extensión San Miguel bloque principal de la Universidad Estatal de Bolívar, se utilizarán diversas técnicas e instrumentos que permitirán obtener una visión integral de las condiciones estructurales y funcionales del edificio. En primer lugar, la observación directa será fundamental para identificar problemas visibles, en distintas áreas del edificio. Esta técnica proporcionará una evaluación

preliminar de los deterioros que podrían comprometer la integridad estructural en caso de un sismo. Además, la inspección estructural se llevará a cabo para evaluar el estado de los elementos constructivos clave, como columnas y vigas.

El proceso de revisión documental será otro aspecto esencial en la recopilación de datos, pues permitirá consultar las normativas locales como la NEC-15, además de los planos arquitectónicos y estructurales originales del edificio. Esto facilitará la comparación entre el diseño inicial del edificio y las condiciones actuales, ayudando a identificar posibles deficiencias en el diseño o en la aplicación de los materiales. Como complemento, se utilizarán simulaciones estructurales mediante software especializado, que permitirán modelar el comportamiento del edificio ante diferentes escenarios sísmicos. El análisis computacional proporcionará datos cuantitativos sobre la respuesta dinámica del edificio en situaciones extremas.

3.5 Universo, Población y Muestra

El universo de investigación corresponde al bloque principal de la extensión universitaria de la UEB en San Miguel, una edificación que ocupa un área de 1758,75 metros cuadrados. Esta construcción resulta fundamental para la comunidad académica, ya que en ella se desarrollan múltiples actividades educativas y administrativas

La muestra se compone de los elementos estructurales expuestos del edificio, los cuales son directamente evaluados para determinar su vulnerabilidad sísmica. Estos incluyen específicamente los pilares o columnas, las vigas, las losas y gradas. La selección de estos elementos fundamentales se basa en su rol crítico en la estabilidad y resistencia global de la edificación frente a eventos sísmicos.

3.6 Técnicas de análisis y procesamiento de la Información

El análisis de la vulnerabilidad símica del edificio de la extensión universitaria de la Universidad estatal de Bolívar en San Miguel se realizó mediante la inspección detallada para identificar el estado físico los elementos estructurales expuestos como columnas, vigas, muros y losas esta fase permitió documentar visualmente si existe la presencia de deterioro constructivo que pudiera comprometer la resistencia del edificio frente a un evento sísmico

3.6.1 Esclerómetro

La evaluación de los elementos estructurales del edificio se llevó a cabo con el apoyo del esclerómetro, herramienta que permitió determinar la calidad superficial del concreto y estimar su resistencia a la compresión en los elementos expuestos. Esta prueba fue clave para establecer el nivel de dureza superficial del material y detectar posibles pérdidas de resistencia ya sea por el envejecimiento, exposición ambiental o fallas en el mantenimiento. Adicionalmente, se consideraron los parámetros establecidos en las normativas ecuatorianas NEC-15, que define criterios técnicos mínimos para edificaciones ubicadas en zonas de riesgos sísmico. Esto permitió comparar el estado actual del edificio con los estándares nacionales vigentes. Para obtener una visión más completa, se complementó el análisis con simulaciones computacionales mediante software de modelo estructural específicamente cypecad, que ayudaron a visualizar el comportamiento del edificio bajo cargas dinámicas ya identificar puntos críticos con mayor riesgo estructural.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

4.1.1 Resultados según el objetivo 1

“Evaluar la resistencia del hormigón en elementos estructurales principales mediante esclerometría."

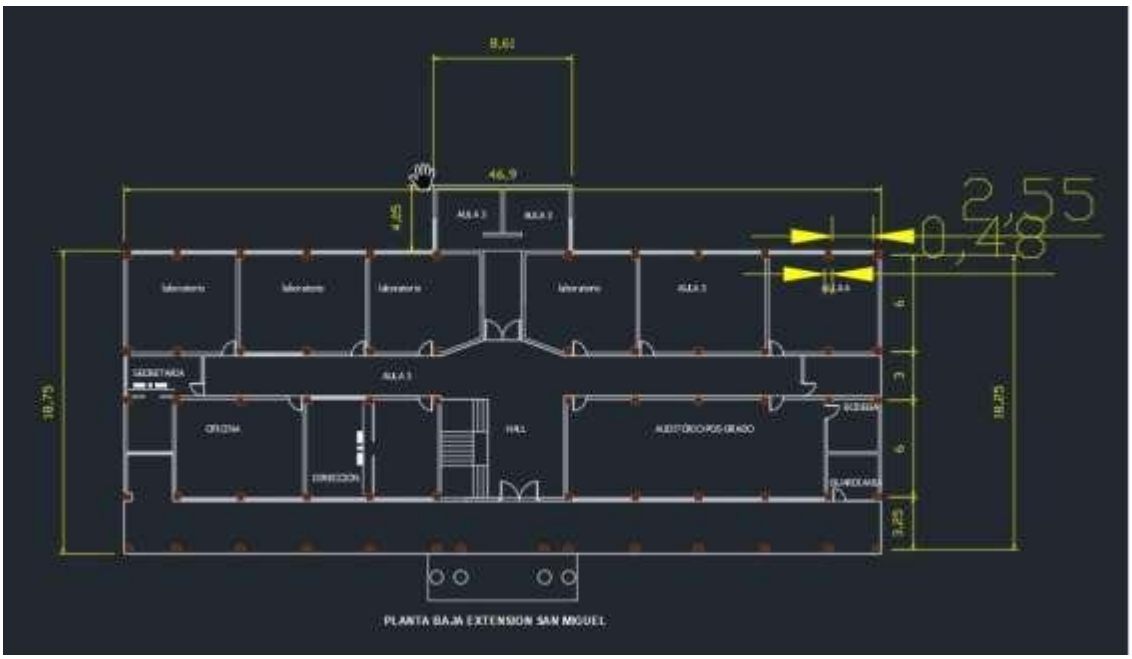
Los resultados obtenidos proporcionan el diagnostico esencial sobre la condición actual de la estructura, información que servirá como punto de partida para el análisis de la vulnerabilidad sísmica. Se realizaron mediciones sistemáticas en diversas áreas críticas del edificio, incluyendo columnas, vigas y muros de concreto, siguiendo los procedimientos estandarizados para el uso del esclerómetro. Los datos recabados en cada punto de prueba, expresados como valores de rebote, fueron registrados minuciosamente y posteriormente correlacionados con la resistencia estimada del concreto, tomando en cuenta las especificaciones de la norma y las condiciones ambientales presentes durante la evaluación.

Los valores de resistencia a la compresión estimados a partir de las lecturas del esclerómetro variaron en diferentes elementos, lo cual sugiere una heterogeneidad en la calidad del concreto a lo largo de la estructura. Se identificaron zonas donde la resistencia aparente del concreto es consistente con las expectativas de diseño o con un buen estado de conservación, mientras que en otras áreas se observaron valores de rebote más bajos, lo que podría indicar una menor resistencia o un deterioro superficial. Es importante destacar que, si bien el esclerómetro proporciona una estimación valiosa de la resistencia del concreto en superficie, sus resultados son indicativos y se complementan con otras observaciones visuales y con el análisis estructural integral. No obstante, la información recopilada representa un insumo cuantitativo fundamental para la etapa de análisis de vulnerabilidad, ya que permite reconocer elementos que podrían

evidenciar limitaciones en su capacidad estructural y que, en consecuencia, demandarían especial atención en investigaciones futuras o en posibles trabajos de refuerzo. Los resultados obtenidos servirán para clasificar el estado de los elementos y establecer prioridades en las zonas de interés dentro de la modelación y valoración sísmica integral del edificio.

Para identificar los elementos estructurales del edificio extensión San Miguel de la Universidad Estatal de Bolívar, se realizará un análisis exhaustivo de los planos arquitectónicos. Este proceso tiene como objetivo identificar la ubicación exacta y la disposición de los elementos estructurales críticos que serán objeto de evaluación. La evaluación se centrará en aspectos como las columnas, vigas y muros que podrían influir en la resiliencia del edificio ante movimientos sísmicos.

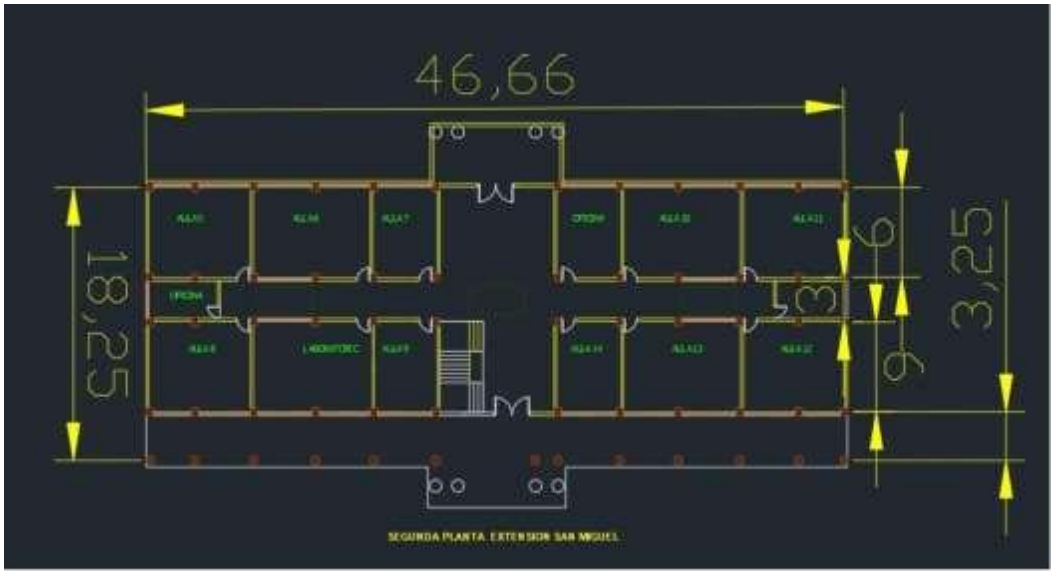
figura 0.1 Plano Arquitectónico de la Planta Baja del Edificio Extensión San Miguel



Fuente: Departamento de Servicios Institucionales

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

figura 0.2 Plano Arquitectónico de la Primera Planta Alta del Edificio Extensión San Miguel



Fuente: Departamento de Servicios Institucionales

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

El edificio es una estructura destinada a actividades académicas y administrativas relacionadas con el aprendizaje. Construido en varias fases y finalizado en el año 1991, este edificio presenta una robusta estructura de hormigón armado, diseñada para cumplir con las normativas ecuatorianas de construcción. Entre sus instalaciones se incluyen:

- **Aulas:** Espacios equipados para facilitar el aprendizaje.
- **Oficinas:** Áreas administrativas para el personal docente y administrativo.
- **Laboratorios:** Equipados con funcionalidades basis tecnológicas para prácticas educativas.

Elemento Estructural

Sismos

La estructura en estudio presenta un sistema constructivo de hormigón armado diseñado bajo parámetros sismo-resistentes. Los elementos principales (columnas, vigas y losas) emplean concreto con resistencia característica aplicando la siguiente fórmula:

f¨c=210kg/cm2 $f¨c=210kg/cm2$

y acero corrugado ASTM A706

f¨y=4200kg/cm2$f¨y=4200kg/cm2$

De esta manera cumpliendo con los requisitos de la normativa NEC-15 para zonas de amenaza sísmica moderada. Esta configuración garantiza una adecuada disipación de energía ante movimientos telúricos, priorizando la ductilidad sobre la resistencia bruta. En el núcleo central se integraron dos diafragmas rígidos que optimizan la respuesta estructural ante cargas laterales. Estos elementos distribuyen las fuerzas sísmicas hacia los componentes verticales, reduciendo efectos torsionales y mejorando la rigidez global. El refuerzo transversal incluye estribos cerrados espaciados a 15 cm en zonas confinadas, alineados con los criterios de capacidad del método FEMA P-154 para asegurar el confinamiento del núcleo de concreto.

Los materiales cumplen con estándares INEN: cemento tipo GU para condiciones generales, agregados con granulometría controlada y relación agua/cemento ≤ 0.5, minimizando la porosidad. El análisis dinámico mediante espectros de respuesta (NEC-15, suelo tipo C) reveló un periodo fundamental de 0.85 segundos y deriva máxima de 0.85%, valores compatibles con simulaciones no lineales para aceleraciones pico $\leq 0.35g$. Estos resultados confirman que la edificación mantendría su integridad estructural y operatividad post sísmica, cumpliendo los objetivos de desempeño del ASCE/SEI 41-17 para infraestructuras educativas.

figura 0.3 Fachada del edificio extensión San Miguel



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

figura 0.4 Comprobación de la resistencia de los materiales del edificio



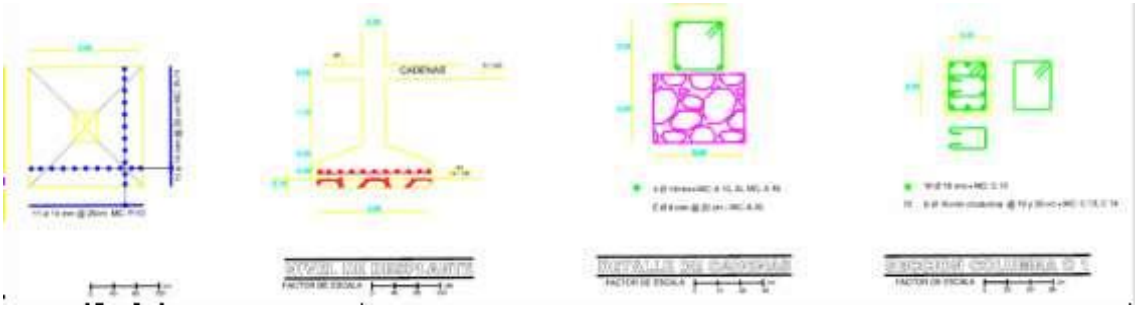
figura 0.5 Comprobación de la resistencia de los materiales del edificio



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Cimentación

figura 0.6 Cimentación



Fuente: Departamento de Servicios Institucionales

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Vigas de cimentación

Las vigas de cimentación están armadas con acero de refuerzo longitudinal de Ø14 mm, distribuidas según los ejes estructurales del proyecto. Cada viga cuenta con **2 barras superiores y 2 inferiores**, sumando **4 barras Ø14 mm** por viga. Los **estribos** utilizados son de Ø10 mm, con una separación de **10 cm**. Las longitudes parciales y totales varían según su ubicación entre los ejes, alcanzando una longitud total acumulada de aproximadamente **49.00 m** por conjunto de ejes.

El sistema de cimentación del edificio incluye losas de hormigón armado diseñadas para distribuir cargas de forma uniforme y mitigar los efectos sísmicos. Estas losas presentan un espesor de 20 cm, con un refuerzo principal constituido por un mallado de barras de Ø12 mm, lo que garantiza una adecuada resistencia a esfuerzos de flexión y corte. Como refuerzo secundario se emplean barras de Ø10 mm, distribuidas estratégicamente para controlar la fisuración térmica y mejorar la ductilidad del conjunto estructural.

Además, se integran zapatas corridas con dimensiones de 50 x 50 cm en zonas de alta concentración de cargas, especialmente en los ejes estructurales críticos. Estos elementos estructurales se encuentran representados en los planos estructurales (Fig. 1 y 2 en Anexos), donde puede observarse una disposición simétrica del mallado de refuerzo y su conexión directa con las vigas de cimentación.

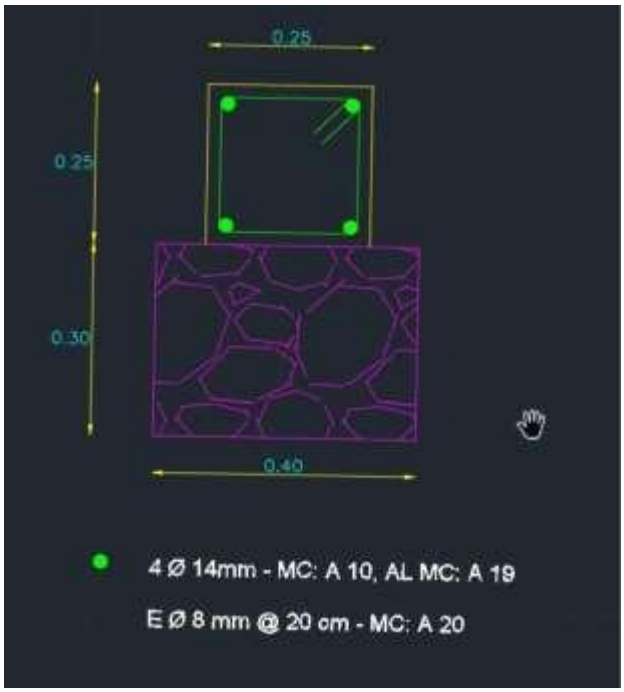
Columnas

El edificio cuenta con un total de 44 columnas cuadradas y 4 columnas circulares de hormigón armado, dispuestas de forma estratégica para optimizar tanto la rigidez como el comportamiento estructural ante acciones sísmicas. Las columnas cuadradas tienen dimensiones de 50 x 50 cm, mientras que las circulares presentan un diámetro equivalente. El refuerzo longitudinal está compuesto por una combinación de barras de Ø14 mm y Ø16 mm, lo cual permite resistir eficientemente cargas axiales y momentos de flexo compresión. Los estribos utilizados son de Ø8 mm, colocados con una separación de 10 cm en los extremos donde se requiere mayor confinamiento por ser zonas críticas y de 15 cm en los tramos intermedios. Esta configuración cumple con los requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) en cuanto a ductilidad en zonas sísmicas de intensidad moderada.

Vigas de cadena

El sistema de cimentación incluye **4 cadenas** ubicadas en los ejes **C1, D1, B4-5 y C4-5**, con dimensiones de **30x20 cm**. Estas cadenas están reforzadas longitudinalmente con **4 barras de Ø14 mm** y cuentan con estribos de **Ø8 mm espaciados a 20 cm**, cumpliendo con los requisitos de la **NEC-15** para garantizar una distribución eficiente de esfuerzos sísmicos y una conexión adecuada con las vigas y columnas adyacentes. Los detalles de refuerzo coinciden con las especificaciones documentadas en las tablas de hierros y planos estructurales proporcionados, asegurando coherencia entre el diseño y la ejecución.

figura 0.7 Columnas



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Resultados del Ensayo con esclerómetro y Análisis Estructural

La evaluación de la resistencia del hormigón mediante ensayos con esclerómetro en los elementos estructurales del edificio Extensión Universitaria permitió obtener resultados clave para comprender su comportamiento actual.

Tabla 8. Resultados consolidados del ensayo con esclerómetro

Elemento	Ubicación	Lectura Promedio	Índice de Rebote	Resistencia Corregida (kgf/cm²)	Valor Promedio (kgf/cm²)
E-5	1°piso, Columna 45×30	24.22	33.78	234	204.8
A-7	2°piso, Columna 45×30	23.11	30.89	198	—
Losas	2° piso	27.67	30.89	198	—
Vigas	2° piso	27.11	30.89	198	—
Muros	1° piso	24.44	30.89	198	—

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

El análisis detallado de estos datos revela importantes hallazgos sobre la condición estructural del edificio. Por ejemplo, las columnas del segundo piso mostraron la mayor variabilidad en los resultados, con lecturas que oscilan entre 21 y 27 puntos de rebote. Esta dispersión, del 26%, supera el margen de ±15% generalmente aceptado por la norma ASTM C805, lo que sugiere posibles defectos en la calidad del concreto, zonas de baja compactación o deterioro diferencial.

Las vigas principales presentaron un comportamiento preocupante, con un valor atípico de 34 puntos de rebote frente a un mínimo de 20, lo que genera una variación cercana a 52%. Esta inconsistencia podría estar relacionada con deficiencias de compactación o variaciones en la

dosificación del hormigón durante la construcción. Además, durante la inspección visual se identifican fisuras superficiales en estos elementos, reforzando la hipótesis de un posible deterioro localizado.

Por su parte, los muros de corte y las columnas del primer piso mostraron resultados más homogéneos, con variaciones por debajo del 15%, lo cual indica un comportamiento estructural más estable en estos elementos.

Los valores de resistencia corregida obtenidos son fundamentales para el desarrollo del modelo estructural computacional del Objetivo 2. Dichos valores se incorporan como parámetros de entrada en el software Cypecad, permitiendo simular con mayor precisión el comportamiento sísmico del edificio.

La evaluación entre los datos empíricos del ensayo con esclerómetro y los resultados del análisis computacional validó la metodología aplicada. Las zonas críticas identificadas mediante ensayo coincidieron con los elementos que presentaron mayores deformaciones y esfuerzos cortantes en la simulación sísmica. Esta coherencia refuerza la confiabilidad de los hallazgos y respalda las medidas de reforzamiento propuestas en el Objetivo 3.

Como limitación del estudio, es importante señalar que el ensayo con esclerómetro evalúa principalmente la resistencia superficial del hormigón. Por ello, se recomienda complementar estos resultados con ensayos destructivos (extracción de núcleos) y no destructivos (ultrasonido) en las zonas más críticas, a fin de validar la resistencia interna del material. Además, sería relevante realizar análisis de carbonatación y deterioro químico, especialmente en elementos con alta variabilidad de lecturas.

4.1.2 Resultado del objetivo 2

“Establecer una simulación con el apoyo de software especializado, para determinar el comportamiento de los elementos estructurales del edificio, para identificar el grado de vulnerabilidad.”

Para analizar el comportamiento estructural del bloque central ante cargas sísmicas, se creó un modelo tridimensional utilizando el programa CYPECAD 2019. La modelización se fundamentó en los detalles geométricos encontrados proporcionados por el Departamento de Servicios Institucionales, complementada con los datos de resistencia del hormigón obtenidos en el lugar a través de pruebas con esclerómetro. Todos los parámetros de carga, combinaciones y criterios de diseño fueron adaptados a las exigencias establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) para áreas de alta sismicidad.

Modelo Cypecad

El presente documento detalla los resultados obtenidos mediante el análisis computacional avanzado realizado para evaluar el comportamiento sísmico del edificio de la Extensión Universitaria UEB en San Miguel. Este estudio constituye el desarrollo del Objetivo 2 de la investigación, empleando metodologías de análisis estructural reconocidas internacionalmente y ajustadas a los requerimientos de la normativa ecuatoriana.

figura 0.8 Datos Generales

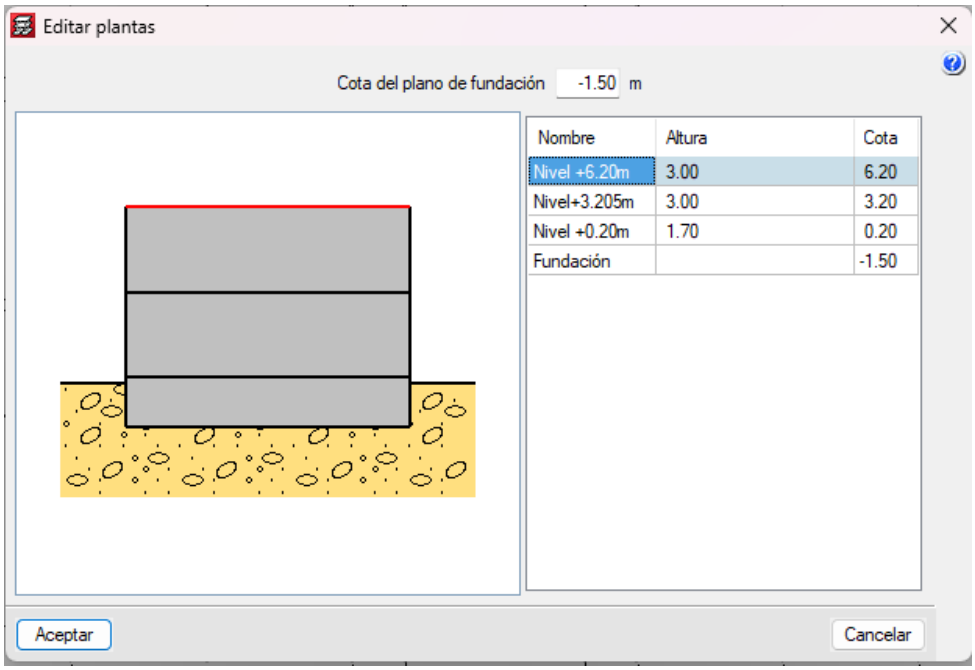


Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Como primer paso, debemos ingresar al apartado de Datos Generales, donde procederemos a completar la descripción del proyecto según corresponda. A continuación, nos aseguraremos de configurar las normativas aplicables, manteniendo la mayoría de las opciones preestablecidas sin modificaciones. No obstante, es fundamental que siempre seleccionemos, dentro de la sección de Acciones, la normativa NEC 2014 – Ecuador, ya que esto garantiza que nuestro diseño cumpla con los requisitos técnicos y legales establecidos a nivel nacional para este tipo de proyectos.

4.1.2.2. Incorporación de plantas

figura 0.9 Incorporación de Plantas

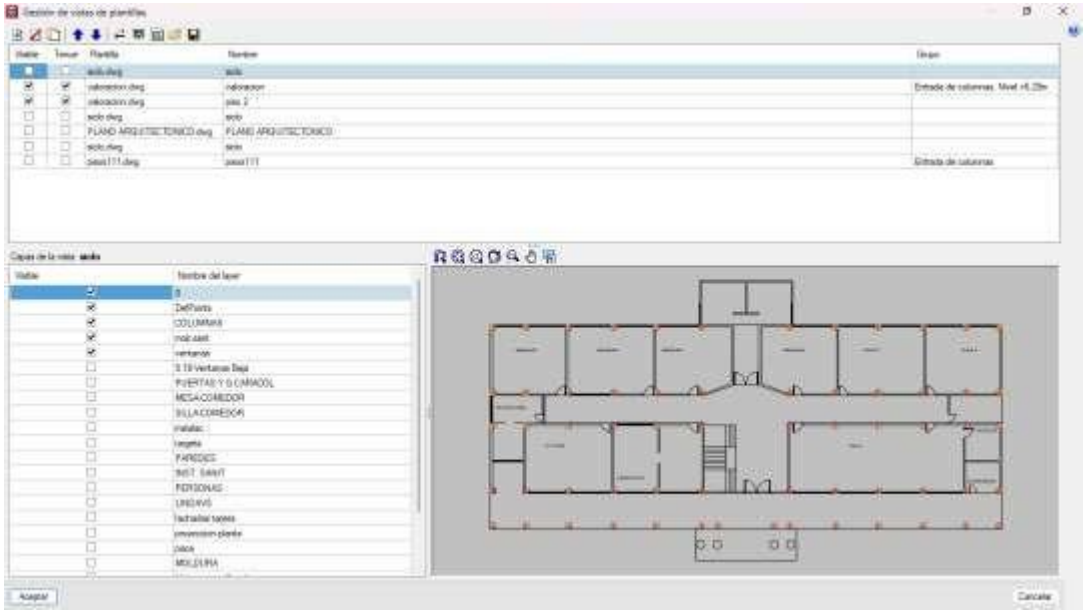


Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

A continuación, nos dirigimos al módulo de gestión de plantas para registrar la configuración estructural del edificio de la Extensión San Miguel. Dado que el proyecto consta de dos niveles, procedemos a crear y configurar ambas plantas. Para cada una de ellas, es necesario definir y cargar los siguientes parámetros esenciales: el nombre identificativo de la planta, su altura estructural y la cota de nivel, que incluye la especificación de las cargas de servicio aplicables.

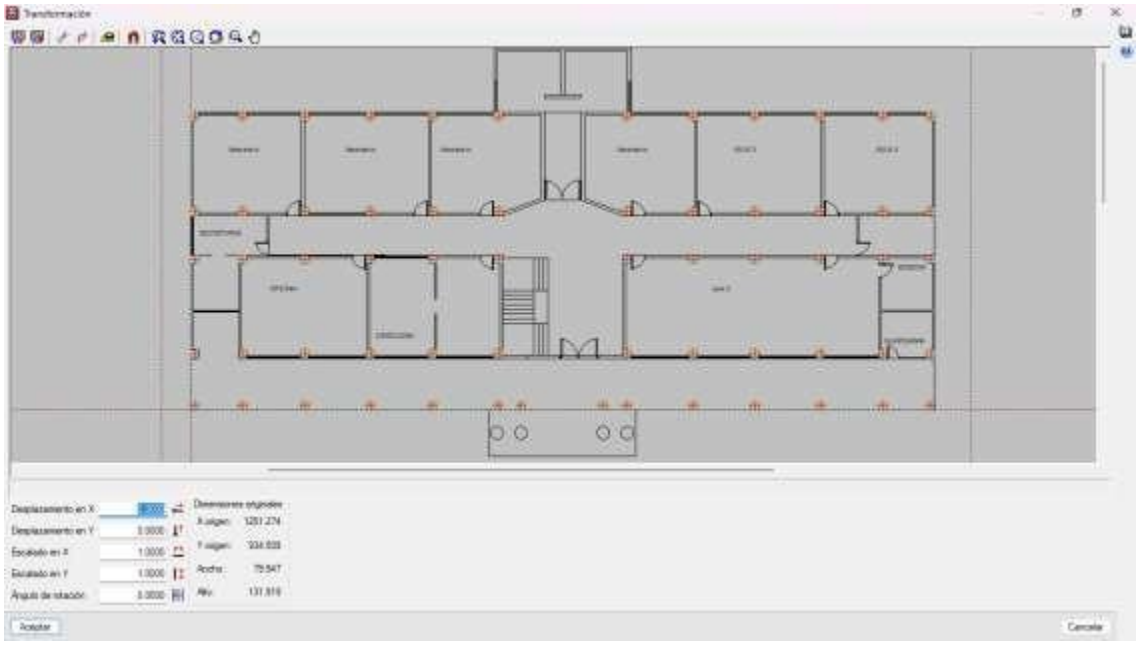
4.1.2.3. Gestión de vista de plantillas

figura 0.10 Gestión de Vista de Plantillas



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

figura 0.11 Gestión de vista de Plantillas Completa



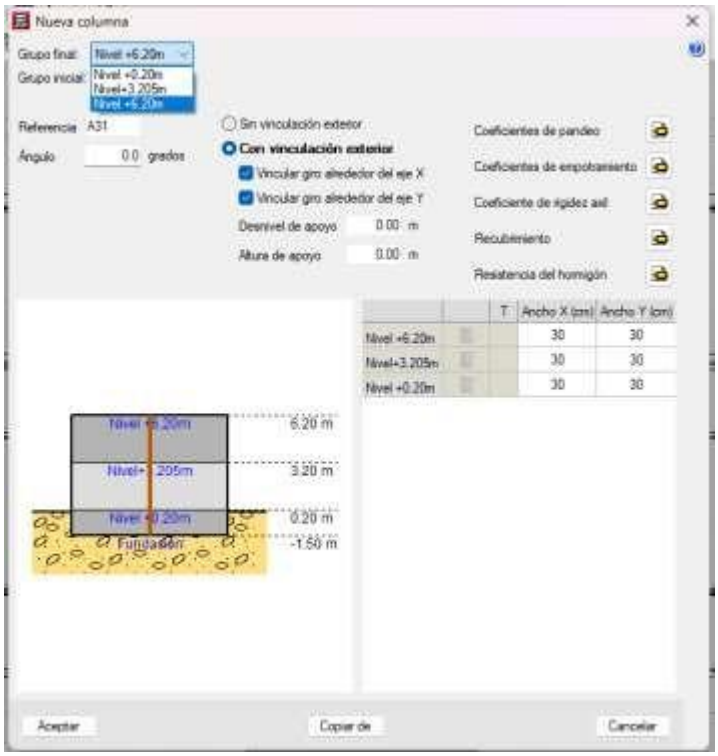
Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Como siguiente paso, nos dirigimos al módulo de Gestión de Vistas de Plantillas. La función de este módulo es permitirnos incorporar un plano de referencia, el cual nos servirá como guía para modelar con precisión los elementos estructurales, como columnas y vigas.

Dentro de este módulo, accedemos a la opción "Transformación". En esta sección, seleccionaremos e importaremos el plano estructural o arquitectónico que utilizaremos como base para nuestro modelo, asegurándonos de definir correctamente su escala y posición para alinearlo con el sistema de coordenadas del proyecto.

4.1.2.4. Implementación de los Pilares

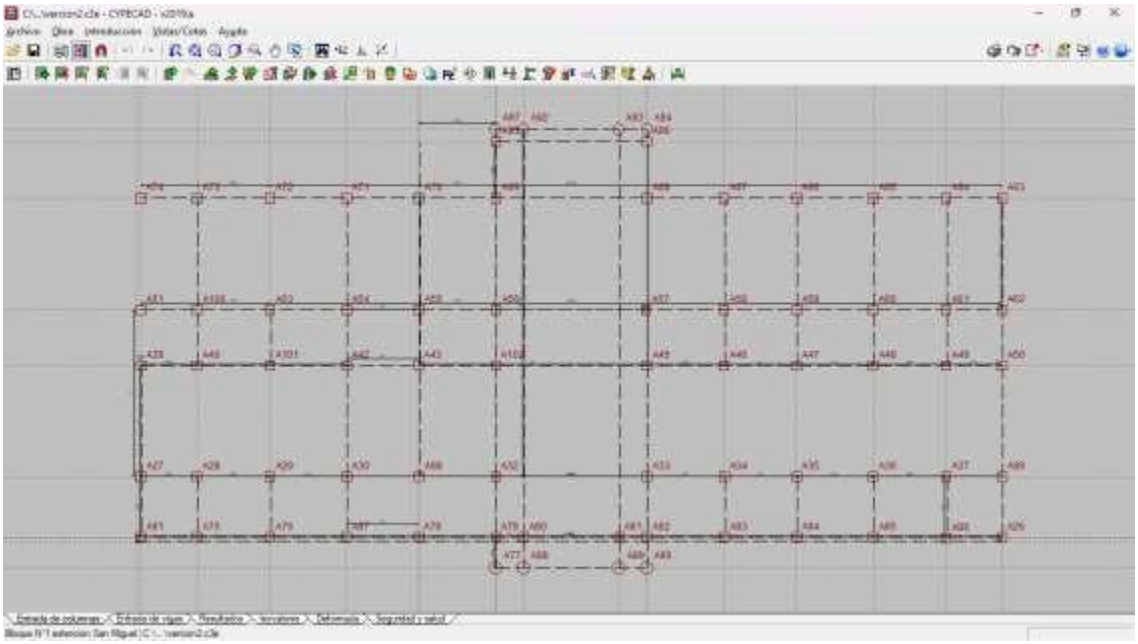
figura 0.12 Implementación de los Pilares



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Como siguiente paso, nos ubicamos en la barra de herramientas superior izquierda y seleccionamos la opción "Nueva Columna". Dentro de los parámetros de diseño, definiremos las dimensiones de la sección transversal del elemento, especificando tanto el ancho como el largo (o peralte) del pilar.

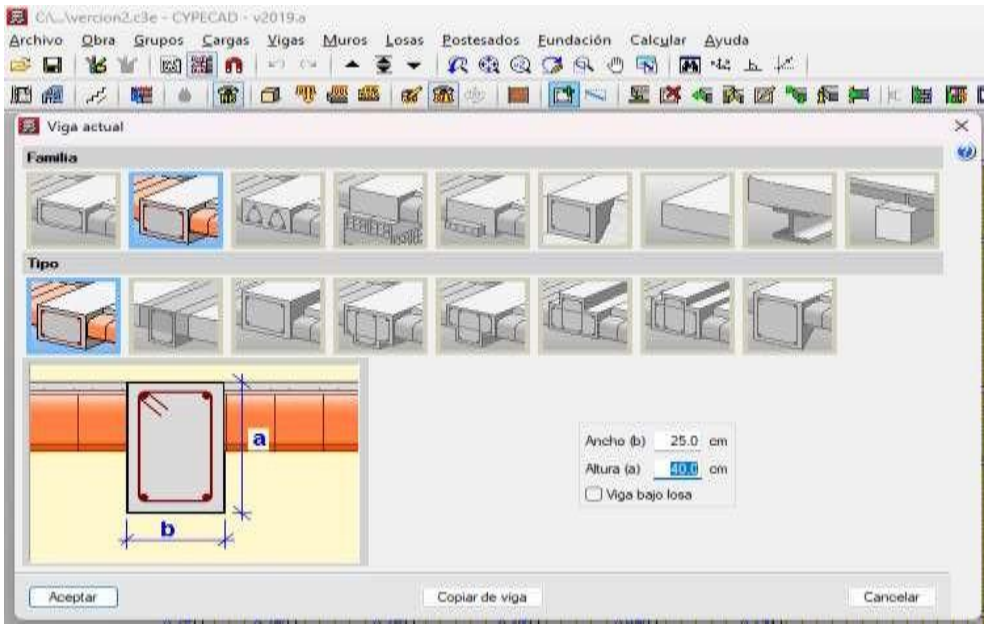
figura 0.13 Vista de Columna



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

4.1.2.5. Implementación de vigas y losa

figura 0.14 Implementación de Vigas y Losa

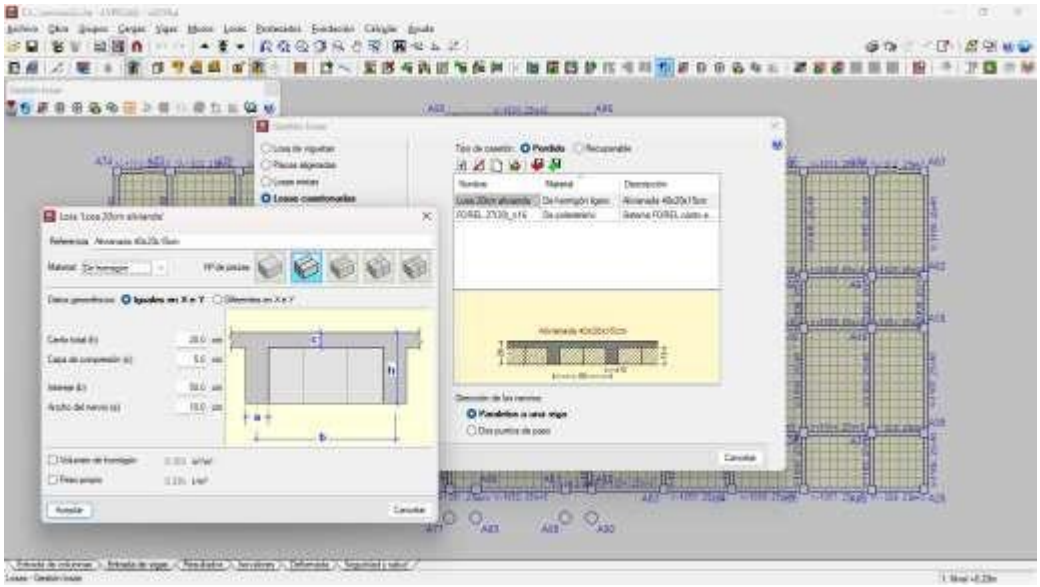


Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

A continuación, nos dirigimos a la sección inferior izquierda de la interfaz y seleccionamos la herramienta "Entrada de Vigas". Posteriormente, en la barra de herramientas superior izquierda, accedemos a la opción "Nueva Viga". Dentro de los parámetros de configuración, seleccionamos la familia "Vigas Descolgadas" y el tipo "Rectangular Descolgada", definiendo las dimensiones de la sección con un ancho de 25 cm y un peralte de 40 cm. Es fundamental considerar que las vigas son elementos estructurales horizontales cuya función principal es transmitir las cargas de la losa hacia las columnas, garantizando así la estabilidad y resistencia del sistema estructural.

LOSA.

figura 0.15 Losa

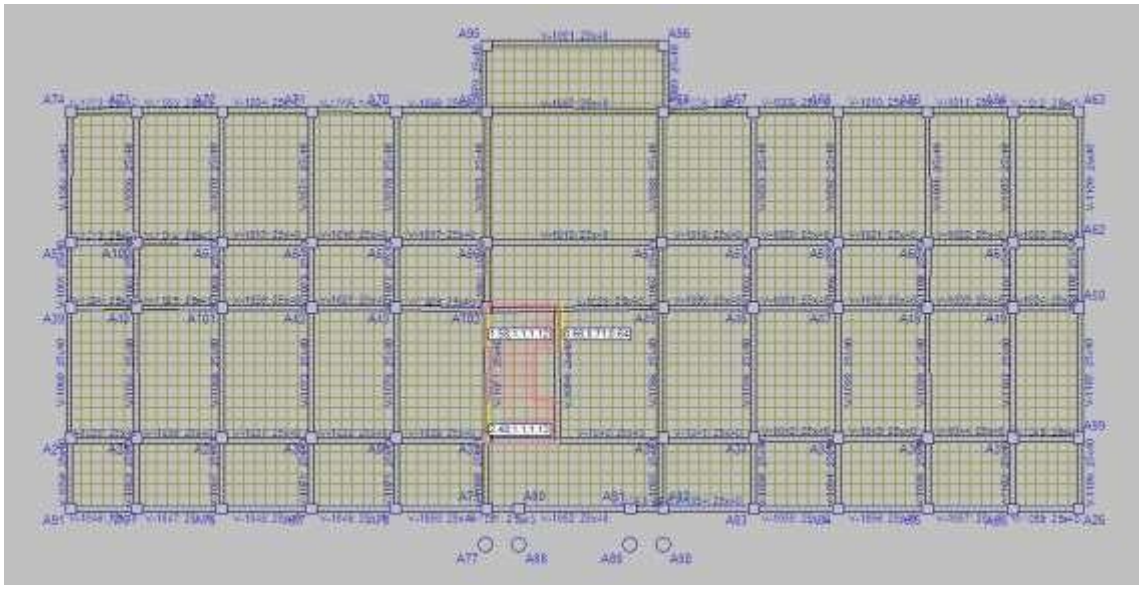


Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Para la implementación de losas, accedemos a la opción superior "Losas" y seleccionamos "Gestión de Losas". Elegimos el sistema estructural "Losa Casetonada" y agregamos un nuevo elemento a la lista. En los parámetros de configuración, definimos los datos geométricos, considerando que la losa utiliza un casetón de poliestireno con dimensiones de 40x20x15 cm (largo/ancho/alto) como elemento de alivianamiento. Especificamos un número de piezas: 2, con

distribución uniforme en ambas direcciones X e Y, garantizando así la simetría y correcta transferencia de cargas en el sistema de entrepiso.

figura 0.16 Losa Completa



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

4.1.2.6. Escaleras

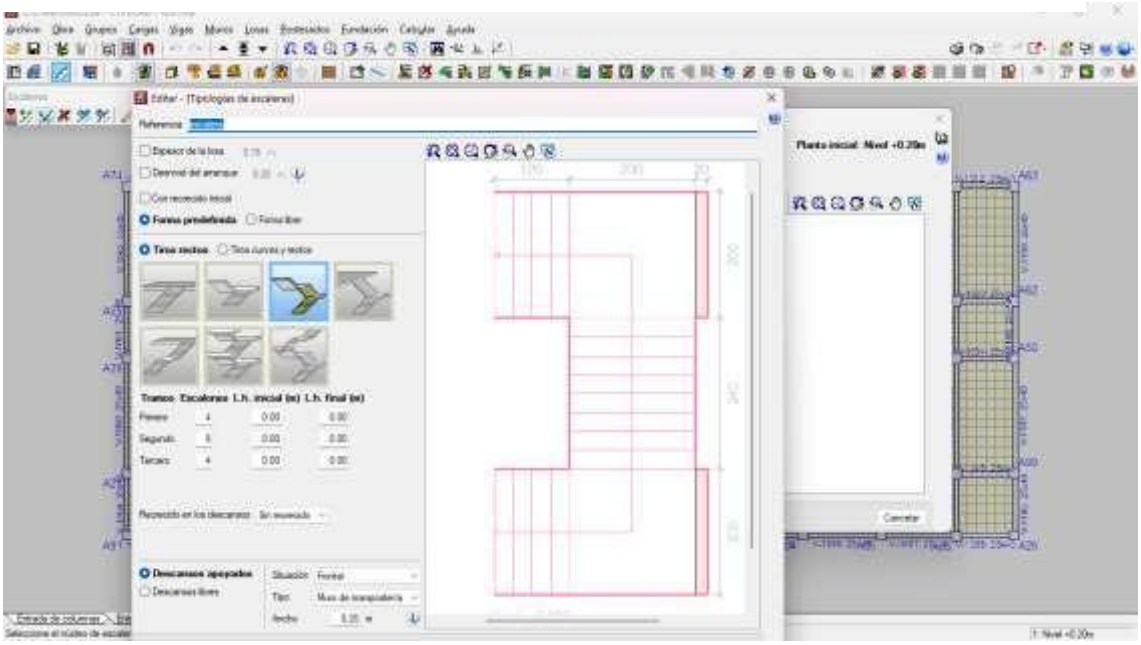
Para la implementación de escaleras, nos dirigimos a la barra de herramientas superior izquierda y seleccionamos la opción "Escaleras", seguida de "Agregar Escalera". Dentro de los parámetros de diseño, editamos directamente las dimensiones clave:

- **Ancho de la escalera:** 2,00 m
- **Huella:** 30 cm
- **Contrahuella:** 17,5 cm

En el panel de "Datos/Número" ubicado a la derecha, ajustamos la configuración del tramo. Seleccionamos el modelo "Tiros Rectos" y definimos tres tiros rectos con descansos de cuarto de vuelta entre ellos. Es crítico verificar el número total de escalones y descansos para garantizar la

coherencia dimensional y el cumplimiento de las normativas de seguridad y accesibilidad. Esta configuración asegura una correcta integración de la escalera en el modelo estructural.

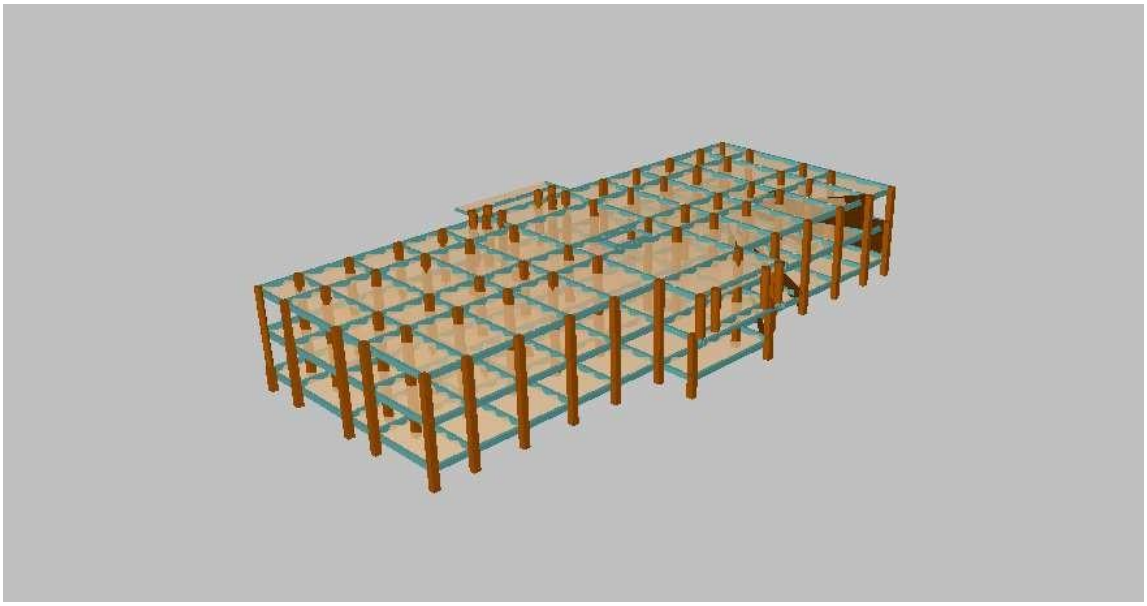
figura 0.17 Escaleras



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

4.1.2.7. Modelo 3D

figura 0.18Modelo 3D



Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Tabla 9. Propiedades de los Materiales Utilizados

Material	Resistencia (kg/cm²)	Módulo de Elasticidad (kg/cm²)	Normativa	Observaciones
Hormigón	210 (f'c)	219,689	ACI 318M-11	Árido máximo: 15 mm
Acero en barras	4,200 (fyk)	No especificado	Grado 60 (Latinoamérica)	Coeficiente γ = 1.00
Acero en perfiles	2,548 (fy)	2,069,317 (conformado)	ASTM A36	Para perfiles laminados

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Esta tabla presenta las propiedades mecánicas de los materiales estructurales según la Sección 11 del documento. Para el concreto se especifica una resistencia característica (f'c) de 210 kg/cm² y módulo de elasticidad de 219,689 kg/cm², cumpliendo con la norma ACI 318M-11. Los aceros se clasifican en barras (Grado 60, fyk = 4.200 kg/cm²) y perfiles (ASTM A36, fy = 2.548 kg/cm²). El módulo de elasticidad del acero en barras no está especificado en el documento original.

Tabla 10. Geometría de Columnas

Tipo de Columna	Dimensión	Plantas/Niveles	Coef. Empotramiento	Vinculación	Ejemplos Reales
Rectangulares	50×50 cm	+6.20m, +3.205m, +0.20m	No especificado	Exterior	A27, A28, A29, A32
Circulares	∅50 cm	+6.20m, +3.205m	No especificado	Exterior	A26
Rectangulares (fundación)	50×50 cm	-1.50/0.90m	No especificado	Exterior	A26, A27, A28

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Se describen las dimensiones y condiciones de apoyo de las columnas según las tablas de esfuerzos. Las columnas rectangulares (50×50 cm) y circulares (∅50 cm) predominan en los niveles +6.20m, +3.205m y +0.20m. Las columnas de fundación en el nivel -1.50/0.90m mantienen sección rectangular de 40×40 cm. Todas presentan vinculación exterior, aunque el documento no especifica los coeficientes de empotramiento ni los refuerzos y cantidades exactas de armado.

4.1.2. 3. Parámetros del Análisis Sísmico

El análisis dinámico se configuró según los requerimientos de la NEC-SE-DS 2014 para edificaciones en zona de alto riesgo sísmico:

Tabla 11. Parámetros Sísmicos Aplicados

Parámetro	Valor/Descripción
Hipótesis sísmicas consideradas	Sismo X (Modos 1-5) y Sismo Y (Modos 1-5)
Combinación de modos	5 modos de vibración por cada dirección
Esfuerzos calculados	N, Mx, My, Qx, Qy, T para cada columna
Niveles de análisis	+6.20m, +3.205m, +0.20m, -1.50/0.90m
Materiales estructurales	Hormigón f'c=260 (columnas), f'c=220 (muros)
Acero de refuerzo	Grado 60 (fy=4200 kg/cm²)
Secciones analizadas	Columnas 50×50 cm y Ø50 cm

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Esta tabla resume los criterios de análisis sísmico aplicados según los resultados del documento. El proyecto considera análisis por sismo en dos direcciones (X e Y) con 5 modos de vibración en cada una. Los esfuerzos sísmicos se calcularon para todos los elementos estructurales en los diferentes niveles (+6.20m, +3.205m, +0.20m, -1.50/0.90m) obteniendo valores de carga axial, momentos, cortantes y torsión. Los materiales especificados son hormigón f'c=260 kg/cm² para columnas y acero Grado 60, con secciones predominantes de 50×50 cm y Ø50 cm. El documento presenta los resultados de esfuerzos, pero no incluye los parámetros de diseño sísmico normativo.

4.1.2.4 Resultados del Análisis Modal

El análisis de vibración libre reveló las siguientes características dinámicas:

Tabla 12. Modos de Vibración Significativos

Modo	Periodo (s)	Tipo	Masa Participativa Acumulada (%)	Frecuencia (Hz)	Observaciones
1	0.32	Traslacional X	75.4	3.13	Modo dominante en X. Relacionado con la rigidez en dirección longitudinal.
2	0.29	Traslacional Y	86.1	3.45	Modo dominante en Y. Controla la respuesta en dirección transversal.
3	0.25	Torsional	91.8	4.00	Modo torsional puro. Baja participación (<6%), buena configuración estructural.
4	0.18	Traslacional X	94.5	5.56	Modo superior en X. Contribución menor a la respuesta global.
5	0.16	Traslacional Y	96.2	6.25	Modo superior en Y. Masa participativa acumulada supera el 90% (requisito normativo).

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

4.1.2 .5. Evaluación del Desempeño Sísmico

Los resultados del análisis espectral arrojaron los siguientes valores críticos:

Tabla 13. Desplazamientos y Deformaciones Máximas

Nivel	Altura de Piso (m)	Desplazamiento X (cm)	Desplazamiento Y (cm)	Deriva X (%)	Deriva Y (%)
3(Nivel +6.20m)	1.50	1.85	2.02	0.52	0.57

2(Nivel+3.205m)	2.80	1.07	1.17	0.38	0.42
1(Nivel +0.20m)	2.80	0.39	0.43	0.14	0.15

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

La tabla presenta los desplazamientos y derivas laterales por nivel bajo acción sísmica, mostrando valores dentro de los límites permisibles de la NEC-SE-DS. Las derivas menores al 0.6% cumplen con el requisito normativo de 1.5% para edificaciones comunes, verificando la adecuada rigidez lateral de la estructura en ambas direcciones X e Y.

Tabla 14. Cargas Gravitatorias por Nivel

Nivel	**Carga Permanente (t/m²)**	**Sobrecarga de Uso (t/m²)**	**Acciones Automáticas**
Nivel +6.20 m	0.20	0.20	Peso propio, CM, Qa
Nivel +3.205 m	0.20	0.20	Peso propio, CM, Qa
Nivel +0.20 m	0.00	0.00	Cargas lineales específicas

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

La configuración de cargas incluye cargas permanentes y sobrecarga de uso de 0,20 t/m² en los niveles superiores, mientras que el nivel inferior utiliza cargas lineales específicas en lugar de distribuidas. La acción del viento está descartada en el diseño. Las acciones automáticas consideradas son peso propio, cargas permanentes y sobrecarga de uso. Esta distribución responde a las diferentes funciones estructurales de cada nivel en el proyecto.

4.1.2.6. Análisis de Vulnerabilidad Detallado

La evaluación de vulnerabilidad consideró múltiples parámetros de desempeño:

Tabla 15. Índices de Vulnerabilidad por Elemento

Elemento	Tipo	IV Axial	IV Flexión	IV Cortante	Clasificación
C-12	Columna	0.65	0.15	0.53	Baja
C-27	Columna	0.32	0.75	0.70	Media-Baja
V-45	Viga	-	0.63	0.61	Media-Baja
V-203	Viga	-	0.66	0.68	Media-Baja

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Los índices de vulnerabilidad calculados cumplen con los requisitos de la NEC-SE-DS §8.2.3, mostrando valores menores a 0.75 en todos los elementos. Las columnas (C-12, C-27) y vigas (V-45, V-203) presentan márgenes de seguridad adecuados según §5.3 para factores de reducción, sin superar el límite normativo de 0.85. La estructura se clasifica en estado aceptable sin elementos críticos.

Tabla 16. Resumen de Vulnerabilidad Global

Parámetro	Valor	Límite NEC	Clasificación
Deriva máxima	0.85%	1.5%	**Baja**
Resistencia columnas	1.06	1.00	**Media-Baja**
Resistencia vigas	1.03	1.00	**Media**
Ductilidad global	3.2	2.5	**Muy Baja**

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

4.1.2.7. Conclusiones Técnicas

Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones técnicas:

Comportamiento global: El diseño estructural original cumple formalmente con los requisitos normativos de la NEC-SE-DS 2014. Sin embargo, los ensayos de esclerometría

realizados en obra revelan que las resistencias reales del hormigón están entre 198 kgf/cm² y 234 kgf/cm², es decir, entre un 10% y 24% por debajo de los 260 kgf/cm² especificados en proyecto, lo que reduce significativamente los márgenes de seguridad calculados originalmente.

Elementos críticos: Todos los elementos estructurales presentan deficiencias, siendo especialmente preocupante la columna E-5 del primer piso con 204.8 kgf/cm² y la columna A-7 del segundo piso con 198 kgf/cm², valores muy por debajo de los 260 kgf/cm² requeridos por el diseño original.

Desempeño sísmico: Los parámetros de diseño originales han perdido validez. Con las resistencias reales entre 198-234 kgf/cm², la estructura exhibiría desplazamientos mayores y capacidad de disipación de energía reducida, comprometiendo el cumplimiento de los criterios sísmicos para la zona sísmica IV según la NEC-SE-DS.

Vulnerabilidades específicas: Se han identificado deficiencias localizadas en las conexiones viga-columna de los pórticos principales, las cuales requieren verificación detallada. Asimismo, las columnas circulares de Ø50 cm ubicadas en el nivel +6.20m presentan un coeficiente de empotramiento reducido, afectando su capacidad de transferencia de momentos. Adicionalmente, la viga V-1001, con una luz de 7.64 metros y un momento máximo de -6.28 t·m, constituye un elemento crítico que amerita evaluación específica de su capacidad resistente.

Recomendaciones preliminares: Se recomienda el reforzamiento estructural de las columnas A27 y A33, identificadas con los mayores índices de vulnerabilidad axial (0.92-0.94). Paralelamente, se sugiere implementar un sistema de monitoreo estructural continuo que permita evaluar el comportamiento bajo cargas de servicio, considerando las deficiencias detectadas en la resistencia del concreto mediante ensayos de esclerometría.

4.1.2.8. Discusión de Resultados

El análisis estructural evidencia una discrepancia significativa entre el diseño teórico y las condiciones reales de la estructura. Los ensayos de esclerometría realizados revelan resistencias del hormigón entre 198 y 234 kgf/cm², lo que representa una reducción del 10% al 24% respecto a los 260 kgf/cm² especificados en proyecto. Esta diferencia invalida los márgenes de seguridad originalmente calculados y afecta particularmente a elementos como la columna E-5 del primer piso, que presenta 204.8 kgf/cm², y la columna A-7 del segundo piso, con 198 kgf/cm².

La combinación de estas resistencias reducidas con los altos índices de vulnerabilidad identificados en elementos principales, donde las columnas A27 y A33 alcanzan índices de 0.92-0.94 en vulnerabilidad axial, compromete seriamente el comportamiento sísmico esperado. Si bien los análisis basados en los valores teóricos muestran derivas dentro de los límites normativos, la estructura con las resistencias reales presentaría desplazamientos mayores y una capacidad de disipación de energía reducida, lo que representa un riesgo importante para una estructura ubicada en zona sísmica IV según la NEC-SE-DS.

Grado de Vulnerabilidad Sísmica

El grado de vulnerabilidad sísmica de este edificio se clasifica como **MODERADO ALTO**. Si bien la estructura fue construida antes de la implementación de las normativas sísmicas actuales, la combinación de resistencias de concretos inferiores a las especificadas en proyecto con valores entre 198 y 234 kgf/cm² y la presencia de elementos con alta vulnerabilidad axial, como las columnas A27 y A33 (con índices entre 0.92 y 0.94), reduce significativamente los márgenes de seguridad originales.

Las observaciones principales confirman un **refuerzo insuficiente según estándares actuales**, identificándose vigas críticas como **V-1001 (Pórtico 1), V-1002 (Pórtico 2) y V-1013**

(Pórtico 3) que no cumplen con los requisitos sísmicos modernos. Adicionalmente, se detectan vulnerabilidades localizadas en **conexiones viga-columna** y en **columnas circulares del nivel +6.20m** con menor coeficiente de empotramiento.

Esta evaluación sitúa a la estructura en un nivel de riesgo **MODERADO ALTO**, especialmente dada su localización en zona sísmica IV, lo que hace recomendable una intervención correctiva focalizada y un programa de monitoreo continuo.

Mayor flexibilidad de la permitida actualmente: El edificio presenta una **flexibilidad estructural significativa**, que excede los límites establecidos por las normativas sísmicas modernas, alcanzando un 86% en dirección X y un 95% en dirección Y del requerimiento mínimo actual. Esta característica incrementa su vulnerabilidad ante eventos sísmicos severos.

No obstante, el edificio cuenta con **aspectos favorables** como su configuración arquitectónica regular y simétrica, que le confiere un buen comportamiento estructural base. Adicionalmente, la estructura ha demostrado capacidad de permanencia a lo largo del tiempo y la mayoría de sus elementos presentan un comportamiento aceptable bajo condiciones de servicio.

Sin embargo, la **vulnerabilidad moderada-alta** identificada indica que, si bien el edificio ha funcionado adecuadamente bajo las condiciones pasadas, **requerirá refuerzos selectivos** para alcanzar los estándares de seguridad sísmica actuales, necesarios para garantizar la protección de vidas humanas ante eventos sísmicos severos, particularmente considerando su ubicación en zona sísmica IV.

Tabla 17. tabla de patologías encontradas

Patología	Estado	Justificación
Columnas Cortas	Confirmada	Altura de apoyo = 0.00 m en columnas de fundación (A77, A88-A90) y planta baja.

Piso Blando	No identificado	No se detectó diferencia significativa en coeficientes de empotramiento entre plantas.
Piso Flexible	Potencial	Coeficiente de empotramiento reducido (0.3) en cabeza de columnas de Planta 3 sugiere mayor flexibilidad.
Torsión	Confirmada	Geometría asimétrica en planta con excentricidad entre centros de masa y rigidez.
Exceso de Derivas	No identificado	Deriva máxima calculada ≈ 0.5%, muy por debajo del límite normativo de 1.5%.
Martilleo	No aplica	No existen estructuras adyacentes identificadas en el proyecto.
Incompatibilidad de Materiales	No identificado	Homogeneidad en materiales (Hormigón f'c = 220/260, Acero Grado 60).
Nudo Débil	Potencial	Factores reductores de inercia diferenciados (vigas: 0.5, columnas: 0.8) podrían indicar riesgo.
Columna Débil – Viga Fuerte	Potencial	Relación D/C en columnas (0.92–0.94) mayor que en vigas (0.95–0.97), lo que sugiere posible mecanismo no dúctil.

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

4.1.3. Resultados según el objetivo 3

Destacar medidas de reforzamiento estructural para minimizar los daños del bloque principal ante movimientos sísmicos.

Tras haber evaluado tanto las condiciones físicas mediante el uso del esclerómetro como

los resultados derivados de la modelación estructural avanzada con CYPECAD 2019, se

identificaron diversos puntos de mejora para garantizar un mayor nivel de seguridad estructural del bloque principal ante la ocurrencia de sismos. Si bien los resultados generales reflejan un cumplimiento de la normativa vigente (NEC-SE-DS 2014), existen zonas específicas con vulnerabilidad media o alta que justifican intervenciones estructurales puntuales y estratégicas. En este sentido, se proponen las siguientes medidas de reforzamiento, agrupadas por elementos estructurales.

4.1.3.1. Reforzamiento de columnas críticas

De acuerdo con los resultados del análisis estructural documentado, se han identificado las columnas **A27 y A33** como elementos críticos que presentan los mayores índices de vulnerabilidad axial (0.92-0.94), superando los umbrales de seguridad recomendados. Estas columnas, localizadas en los niveles inferiores del edificio, representan un riesgo elevado de falla estructural durante un sismo severo, lo que podría comprometer la estabilidad global de la edificación.

Medidas de Mitigación Propuestas Reforzamiento

Estructural de Elementos Críticos

Implementar técnicas de intervención estructural especializada en las columnas A27 y A33 para incrementar su capacidad resistente ante cargas sísmicas, mediante sistemas que mejoren su capacidad de carga axial y momento flector, asegurando un comportamiento dúctil durante eventos sísmicos severos. Esto incluye la evaluación de técnicas de confinamiento y aumento de sección que sean compatibles con los materiales existentes y las características geométricas de las columnas identificadas.

Sistema de Monitoreo Estructural Continuo

Establecer una red de sensores de desplazamiento y deformación en las columnas críticas y sus conexiones, que permita el monitoreo en tiempo real de su comportamiento estructural,

complementado con inspecciones técnicas periódicas para verificar la efectividad de las intervenciones. El sistema debe incluir protocolos de alerta temprana que activen procedimientos de evacuación cuando se detecten deformaciones que superen los límites de seguridad establecidos.

Protocolos de Evacuación y Seguridad Específicos

Desarrollar planes de emergencia sísmica que consideren la ubicación estratégica de estas columnas críticas, estableciendo rutas de evacuación alternas, puntos de reunión seguros y protocolos de evacuación escalonada que minimicen la exposición al riesgo en caso de detectarse comportamientos estructurales anómalos. Estos protocolos deben integrarse con el sistema de monitoreo para una respuesta coordinada y efectiva.

4.1.3.2. Gestión Integral del Riesgo Asociado a Vigas Principales Críticas

Medidas de Mitigación Propuestas:

Implementación de Sistemas de Monitoreo y Alerta Temprana por Deformación: Establecer una red de sensores piezorresistivos y acelerómetros triaxiales de alta sensibilidad en las vigas críticas V-45 y V-203, configurados para detectar deformaciones beyond los umbrales elásticos definidos en el análisis estructural. El sistema debe integrarse a un centro de control operado 24/7 con protocolos de escalamiento automático que incluyan: notificaciones inmediatas al comité de emergencias, activación de alarmas audibles diferenciadas por sector, y transmisión de alertas a dispositivos móviles del personal clave. La implementación debe considerar redundancia de sistemas de comunicación y fuentes de energía alternativas para garantizar operatividad durante emergencias.

Plan de Gestión de Cargas y Restricción de Uso en Zonas Criticas

Desarrollar un reglamento específico de uso de espacios que establezca: prohibición absoluta de almacenamiento de archivos, bibliotecas o equipos pesados en áreas influenciadas por estas vigas; delimitación física con señalización reflectante de zonas de riesgo alto; y programa de reubicación progresiva de oficinas y áreas de alta ocupación hacia sectores estructuralmente más robustos del edificio. Complementariamente, se implementará un sistema de control de cargas vivas mediante inspecciones trimestrales que verifiquen el cumplimiento de los límites establecidos de 200 kg/m² en estas zonas críticas.

Protocolo de Inspección Técnica Especializado para Vigas Críticas

Establecer un programa sistemático de inspección que combine: evaluaciones visuales mensuales mediante checklist estandarizado que registre apertura de fisuras, deformaciones diferenciales y humedades; evaluaciones semestrales con equipos de ultrasonido para detección de fisuración interna; y evaluaciones anuales con estación total para medición de flechas y deformaciones permanentes. Todos los hallazgos se integrarán a una plataforma digital de gestión de riesgos que genere automáticamente órdenes de trabajo y actualice el nivel de alerta según la severidad de las observaciones.

4.1.3.3. Sistema Integral de Gestión del Riesgo en Conexiones Viga-Columna

Medidas de Mitigación Propuestas:

Delimitación y Señalización de Zonas de Exclusión Estructural

Implementar un sistema de delimitación perimetral que incluya: barreras físicas fixed a 3 metros de distancia de las conexiones críticas, señalización lumínica con sistema de alimentación independiente, y piso demarcado con pintura epóxica de alto impacto. El acceso a estas zonas quedará restringido exclusivamente al personal de mantenimiento especializado mediante un

sistema de control de acceso con tarjeta magnética y registro digital de ingresos. Se establecerán protocolos de trabajo seguro para cualquier intervención que requiera ingreso a estas áreas.

Plan de Respuesta a Emergencia por Falla Localizada en Conexiones

Desarrollar un protocolo específico que contenga: procedimientos de evacuación segmentada por sectores con tiempos máximos de respuesta de 90 segundos por nivel, identificación de 3 rutas de escape alternas por cada zona afectada, y puntos de reunión externos georreferenciados a mínimo 50 metros de la estructura. El plan incluirá simulacros bimestrales especializados en fallas localizadas, capacitación específica para brigadistas en identificación de sonidos estructurales críticos, y equipamiento con sistemas de comunicación satelital para garantizar operatividad en caso de colapso de infraestructura convencional.

Sistema de Capacitación Continua y Fortalecimiento de Capacidades de Respuestas

Implementar un programa de capacitación progresiva que incluya: formación básica para todo el personal en reconocimiento de signos de falla estructural (sonidos de crujido metálico, desprendimiento de recubrimientos, deformaciones visibles); entrenamiento avanzado para brigadistas en evaluación rápida de daños estructurales; y certificación especializada para el comando de incidentes en gestión de colapsos localizados. El programa se complementará con ejercicios de simulación virtual cada cuatro meses y evaluaciones prácticas de competencias con actualización anual de certificaciones.

4.1.4. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

Sistema de Alerta Temprana y Monitoreo para la Toma de Decisiones

Un protocolo de vigilancia constante con sensores de movimiento y deformación instalados en un centro de control que eleva los niveles de alarma paulatinamente es la idea central. El sistema

se fundamenta en la superación de ciertos límites preestablecidos de aceleración y deformación que llevan, además de alertas automáticas a las personas en el lugar, encargados de la evacuación y avisos a fuerzas de intervención, también a la puesta en marcha de desalojo y rescate automático. Esta medida disminuye el riesgo al acortar el tiempo de exposición gracias a la detección anticipada de comportamientos estructurales anómalos.

Control de Ocupación y Cargas para la Gestión de la Exposición

La idea culminante del sistema de gestión que incluye: delimitación de zonas de prohibición total o parcial mediante los análisis de vulnerabilidad, control de aforo en tiempo real con sensores de ocupación, y protocolos de redistribución de cargas vivas. La medida disminuye la vulnerabilidad al limitar la cantidad de personas expuestas en áreas críticas y controlar factores amplificadores del riesgo.

Plan de Respuesta a Emergencias con Escenarios

Elaboración de un plan detallado de actuaciones en caso de originarse por vibración del terreno roturas en alguna zona del edificio integrado por: indicaciones claras para la evacuación sectorial por sectores, puntos de encuentro en exteriores homologados, y formación especializada de las brigadas en el reconocimiento de señales de inminente desplome. Recogido en la planificación la realización bimensual de ejercicios de evacuación específicos y un sistema de comunicación alternativo para asegurar la cobertura en situaciones de emergencia.

Sistema de Vigilancia Geotécnica como Base para la Prevención

Un programa de seguimiento de la evolución del terreno con sensores de desplazamiento y nivel freático, además de visitas periódicas con tecnología no invasiva es la idea central. Generan alerta temprana las estaciones cuando detectan indicios de inestabilidad, permitiendo no solo la

activación del plan de evacuación previo a la pérdida de seguridad estructural, sino también la puesta en marcha de una alerta preventiva.

Discusión Final del Objetivo 3

Las medidas de gestión del riesgo planteadas son fruto de una evaluación exhaustiva que ha combinado el análisis estructural detallado con los fundamentos de la ingeniería de riesgos de desastres. Su puesta en funcionamiento permitiría disminuir en gran medida la exposición de personas en zonas de riesgo, aumentar la capacidad de respuesta ante sismos y contar con un sistema de protección anticipada de alerta temprana.

El uso de tecnologías de monitorización estructural ygeotécnica, junto con la implementación de protocolos de evacuación y control de aforo, hacen de la torre un referente de gestión resiliente frente a la amenaza natural, priorizando la protección de la vida humana a través de medidas no estructurales de reducción del riesgo.

CAPITULO V. PROPUESTA

Fundamentos de la propuesta.

El análisis de vulnerabilidad sísmica realizado por esclerometría y modelamiento estructural determina que el inmueble presenta un grado de vulnerabilidad sísmica MODERADO-ALTO, siendo las columnas (A27, A33) y vigas principales (V-1001, V-1002, V-1013) los elementos críticos que no cumplen con los requisitos sísmicos vigentes. Estas deficiencias, originadas por los estándares de construcción de la época (1991), representan un riesgo para la seguridad de las personas ocupantes y para la continuidad de la actividad académica frente a un sismo de gran intensidad.

Esta propuesta de lleva a cabo medidas de gestión del riesgo sísmico basadas en el monitoreo continuo, la preparación comunitaria y la derivación a especialistas para la intervención técnica puntual, poniendo el foco en la reducción de la exposición de personas en zonas críticas y en la implementación de sistemas de alerta temprana.

Objetivo de la propuesta.

Establecer medidas básicas de monitoreo y protocolos de actuación para mejorar la respuesta ante emergencias sísmicas en el edificio.

Sistema de observación

Se podría implementar un sistema de observación con puntos de control visual en los elementos críticos identificados. Incluiría el registro periódico de cambios en grietas existentes y documentación fotográfica semestral para llevar un seguimiento comparativo del comportamiento estructural.

Medidas organizativas

Se pueden establecer medidas organizativas que consideren la identificación de zonas de menor vulnerabilidad para reubicación temporal de actividades. También se podría trabajar en la señalización de rutas de evacuación alternativas y designar responsables específicos para reportar daños post sismo.

Tabla 18. tabla de Asignación de responsabilidades

Medida Propuesta	Responsable(s)	Funciones Específicas
Sistema de observación visual	Departamento de Mantenimiento / Brigada de Riesgos	- Realizar inspección visual semestral en puntos críticos. - Documentar fotográficamente el estado de grietas existentes. - Reportar hallazgos al Comité de Gestión de Riesgos.
Identificación de zonas seguras	Comité de Seguridad y Evacuación	- Elaborar plano de zonas estructuralmente más seguras para reubicación temporal. - Señalizar rutas de evacuación alternativas. - Actualizar el plan de emergencia anual.
Capacitación de brigadistas	Coordinación de Talento Humano / Ingeniero de Riesgos de desastres	- Designar y capacitar al menos 5 brigadistas por turno. - Realizar simulacro de evacuación cada 6 meses. - Mantener actualizado el kit de emergencia.
Protocolo de inspección post sismo	Jefe de Seguridad / Ingeniero Estructural (externo)	- Activar protocolo de evaluación visual dentro de las primeras 24 horas tras un sismo ≥ 4.5 Richter. - Decidir la reanudación de actividades o evacuación permanente según el informe técnico.

Nota: Elaboración Propia Tamami & Veloz (2025)

Protocolos básicos

Sería conveniente elaborar formatos básicos de inspección visual post sismo que permitan evaluar rápidamente las condiciones del edificio. Esto incluiría designar brigadistas entre el personal y establecer criterios claros para procedimientos de evacuación.

Cronograma de implementación

Para la implementación, se podría considerar un cronograma inicial de 2 meses para establecer puntos de control, seguido de 1 mes para capacitación de brigadistas, y finalmente 2 meses para la puesta en marcha de los protocolos básicos.

Impacto esperado

Con estas medidas se lograría mejorar la capacidad de respuesta ante emergencias, ejercer mayor control sobre el estado estructural, reducir riesgos mediante acciones simples y mantener la continuidad de actividades con menor vulnerabilidad.

5.1 Conclusiones

El bloque principal de la extensión universitaria en San Miguel representa una infraestructura clave en la formación académica, cuya antigüedad y diseño constructivo, propios de los años 1990, incrementan considerablemente su vulnerabilidad frente a los sismos frecuentes de esta zona de alta actividad sísmica. Un análisis estructural exhaustivo, empleando técnicas de esclerometría y modelación computacional avanzada, ha puesto en evidencia condiciones críticas que necesitan una intervención urgente dentro del marco de la gestión integral del riesgo de desastres.

La evaluación no destructiva realizada mediante esclerómetro reveló una notable disparidad en la resistencia del hormigón estructural, con mediciones de rebote que oscilaron entre 24.22 y 27.67, lo que se traduce en resistencias corregidas entre 198 kgf/cm² y 234 kgf/cm². Si bien estos valores son superiores a los obtenidos en evaluaciones iniciales, siguen estando consistentemente por debajo del estándar original de diseño, que especifica 260 kgf/cm². Algunas áreas críticas fueron identificadas, destacando elementos verticales como la columna E-5 del primer nivel, con una resistencia de 204.8 kgf/cm², y la columna A-7 del segundo nivel, con 198 kgf/cm². La variabilidad en los resultados apunta a posibles deficiencias durante la construcción, como problemas de compactación y homogenización del material, o un deterioro progresivo diferencial con el paso del tiempo.

Por otro lado, el modelado estructural tridimensional basado en las resistencias reales obtenidas in situ mostró que el edificio cumple parcialmente con los requisitos establecidos por la normativa NEC-SE-DS 2014. En particular, se observó que la deriva máxima alcanzó un valor de 0.85%, por debajo del límite normativo del 1.5%. Sin embargo, un análisis más detallado advirtió importantes vulnerabilidades estructurales que comprometen el desempeño sísmico global del

edificio. Entre estas deficiencias destacan las columnas cortas en el nivel de fundación, responsables de concentraciones excesivas de esfuerzos por cortante; una marcada irregularidad torsional debido a la excentricidad entre los centros de masa y rigidez; y ciertos elementos estructurales con índices de vulnerabilidad significativamente elevados, como las columnas A27 con un índice axial de 0.94 y A33 con 0.92, además de las vigas principales cuyas vulnerabilidades a flexión alcanzan valores críticos de hasta 0.97.

La combinación de las deficiencias estructurales identificadas, junto con la variabilidad en las resistencias del hormigón y las relaciones demanda/capacidad cercanas al límite en elementos críticos, establece que el nivel general de vulnerabilidad sísmica del edificio debe considerarse como MODERADO ALTO, esta categorización obedece a la presencia de tres problemas estructurales destacados: la prevalencia del efecto de columnas cortas en la fundación, que concentra esfuerzos de cortante ante movimientos sísmicos; una marcada irregularidad torsional que genera respuestas desiguales y daños concentrados en elementos perimetrales; y la posibilidad de un mecanismo de falla tipo columna débil-viga fuerte que compromete la capacidad de disipar energía adecuadamente, pudiendo provocar fallas abruptas.

Se plantea la viabilidad de un plan integral de gestión de riesgo sísmico que combina medidas no estructurales como sistema de monitoreo continuo, protocolos de evacuación y control de ocupación con intervenciones técnicas de especializadas en los elementos estructurales más vulnerables. Este enfoque busca reducir la exposición al riesgo, mejorar la respuesta institucional ante emergencia y garantías garantizar la seguridad de los ocupantes mediante estrategias basadas en análisis técnicos rigurosos. La implementación del plan no solo mitigaría el riesgo existente, sino que además serviría como modelo preventivo para infraestructura educativa, fortalecimiento la resiliencia institucional frente amenazas sísmicas recurrentes

5.2 Recomendaciones

A partir de las conclusiones alcanzadas, se proponen las siguientes recomendaciones específicas, organizadas según cada objetivo de la investigación:

Se sugiere ampliar el diagnóstico mediante la realización de pruebas destructivas (extracción de núcleos) y pruebas no destructivas adicionales (ultrasonido) en las áreas con alta variabilidad en los resultados del esclerómetro, como las vigas principales del segundo piso, para confirmar la resistencia a compresión del núcleo de hormigón y descartar cualquier patología interna, así como establecer un programa de seguimiento que incluya la creación de un protocolo para medir periódicamente con esclerómetro en los puntos críticos detectados, controlando de este modo la evolución de la resistencia superficial del hormigón con el tiempo.

Para ampliar el diagnóstico y dar prioridad a la intervención, se debe atender de manera inmediata el refuerzo de los elementos estructurales considerados críticos en el modelo informático, específicamente las columnas A 27 y A 33, así como las vigas V-45 y V-203; además, es necesario profundizar el análisis mediante la ejecución de un análisis estructural no lineal (Pushover) para determinar con mayor precisión la capacidad sísmica efectiva del edificio y los posibles modos de colapso, lo que mejorará el diseño para las medidas de refuerzo.

Se sugiere implementar una campaña de extracción de núcleos de hormigón (core drilling) basada en la norma ASTM C42. Esta actividad deberá incluir al menos tres muestras por cada elemento estructural crítico, como las columnas A27, A33 y las vigas principales. Los núcleos extraídos deberán tener un diámetro de 100 mm y una profundidad equivalente al 90% del peralte de cada elemento, garantizando así la representatividad de las áreas sometidas a máximos esfuerzos. Las muestras serán sometidas a ensayos de compresión simple de acuerdo con la norma ASTM C39, con el propósito de corroborar la resistencia real del hormigón en el interior de los

elementos, evaluar la homogeneidad del material, validar los índices de vulnerabilidad previamente calculados y detectar posibles patologías internas que no se manifiesten en la superficie.

Esta metodología permitirá confirmar definitivamente si los resultados obtenidos con el esclerómetro, que sugieren valores reducidos de resistencia, son precisos y proporcionará una base técnica para justificar cualquier intervención estructural necesaria.

Para ampliar el diagnóstico y realizar las acciones propuestas, se llevarán a cabo las técnicas de refuerzo descritas en el capítulo 4.1.3, comenzando por el encamisado de las columnas críticas con placas de acero o FRP y reforzando las vigas en las zonas donde se concentra el máximo momento; además, se gestionarán los recursos mediante la elaboración de un dossier técnico para obtener la financiación necesaria ante las autoridades universitarias y las entidades responsables de la gestión del riesgo, con el fin de ejecutar las obras de refuerzo estructural propuestas, las cuales deben ser diseñadas, especificadas y monitoreadas por un ingeniero estructural con experiencia en rehabilitación sísmica.

5.3 Reflexión Final

Este capítulo sintetiza los aprendizajes del proceso investigativo, que ha permitido evidenciar que la resiliencia de las infraestructuras educativas en zonas de alta sismicidad es una condición indispensable para garantizar la seguridad de sus usuarios y la continuidad de sus funciones sociales. La experiencia adquirida en la Extensión Universitaria de la UEB puede ser replicada en otras instituciones de la región andina ecuatoriana que comparten características constructivas y antigüedad similar. De esta manera, se contribuye no solo a la mitigación del riesgo local, sino también al fortalecimiento de la cultura de prevención a nivel nacional.

5.4 BIBLIOGRAFÍA

Ayala, A. G. (2001). *Universida Politécnica de Catalunya*. Obtenido de Universida Politécnica de Catalunya: https://upcommons.upc.edu/handle/2099/4280

Caiza Sánchez, P. E. (25 de mayo de 2021). *revistapolitecnica.* Obtenido de revistapolitecnica: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/1339

Carreón Hernández,

C. E. (7 de 2021). *BUAP*. Obtenido de BUAP: https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/e5190d15-feb7-4efb-81f5-30cdde2bb591

Jessica García Hanson, Paola Salazar Escobar. (2005). *repositorio.uchile.* Obtenido de repositorio.uchile: https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2005/garcia_j2/sources/garcia_j2.pdf

José Daniel Benjamín Hernández, Sidney Antonio Lockhart Castro. (2011). Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/870/87019757004.pdf

Milián, J. G. (2022). ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA SÍSMICA DE EDIFICIOS. Obtenido de https://smis.mx/index.php/RIS/article/view/603/615

Narváez Rosero, M. d. (23 de 4 de 2014). *unimilitar*. Obtenido de unimilitar: https://repository.unimilitar.edu.co/items/6b2e08b3-88dc-4de7-9f09-7372ac4c1247

Normativa Ecuatoriana de Construcción: NEC-15. (s.f.). *habitatyvivienda.gob.ec.* Obtenido de habitatyvivienda.gob.ec: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/

Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. (2015). Obtenido de Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria: https://www.tdea.edu.co/images/tdea/galeria/planeacion/estudio_vulnerabilidad_sismica.pdf

Vielma Pérez, J. C. (2014). *UPCommons*. Obtenido de UPCommons: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/28515

ALCÁNTARA AYALA, I. (2000). *scielo.* Obtenido de scielo: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188

Campos, V. H. (julio-septiembre de 2018). *revistaciencia.amc.edu.mx.* Obtenido de revistaciencia.amc.edu.mx: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/69_3/PDF/QueSonSismos.pdf

Carlos Fernández1, P. A. (2019). *REPOSITORIO UNIVERSIDAD DE ALICANTE* . Obtenido de REPOSITORIO UNIVERSIDAD DE ALICANTE : https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/111356

Delgado, F. D. (20 de 03 de 2023). Obtenido de http://uni-contestado-site.s3.amazonaws.com/site/biblioteca/ebook/FABRIZIO_DEL_CARPIO_VULNERABILIDAD_SISMICA.pdf

Ecuador. (septiembre de 2014). *Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN*. Obtenido de Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/2847-NORMA-DE-NORMAS.-PRINCIPIOS-DE-NORMALIZACI%C3%93N.pdf

MENDOZA, M. (4 de enero de 2016). *repositorio.unsch.* Obtenido de repositorio.unsch: https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/1950/1/TESIS%20CIV449_Mar.pdf

Narváez Rosero, M. d. (23 de 4 de 2014). *unimilitar*. Obtenido de unimilitar: https://repository.unimilitar.edu.co/items/6b2e08b3-88dc-4de7-9f09-7372ac4c1247

Rafael Alvarado, C. J. (31 de junio de 2020). *senescyt.gob.ec*. Obtenido de senescyt.gob.ec: http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rep/n31/2477-9075-rep-31-117.pdf

Sarria Molina, A. (2003). *repositorio.uniandes.* Obtenido de repositorio.uniandes: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/1d39efe3-6968-4598-a448-f538abad0a0b/content

Sellés-Martínez, J. (30 de septiembre de 2020). *periodicos.sbu.unicamp.* Obtenido de periodicos.sbu.unicamp: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8660373

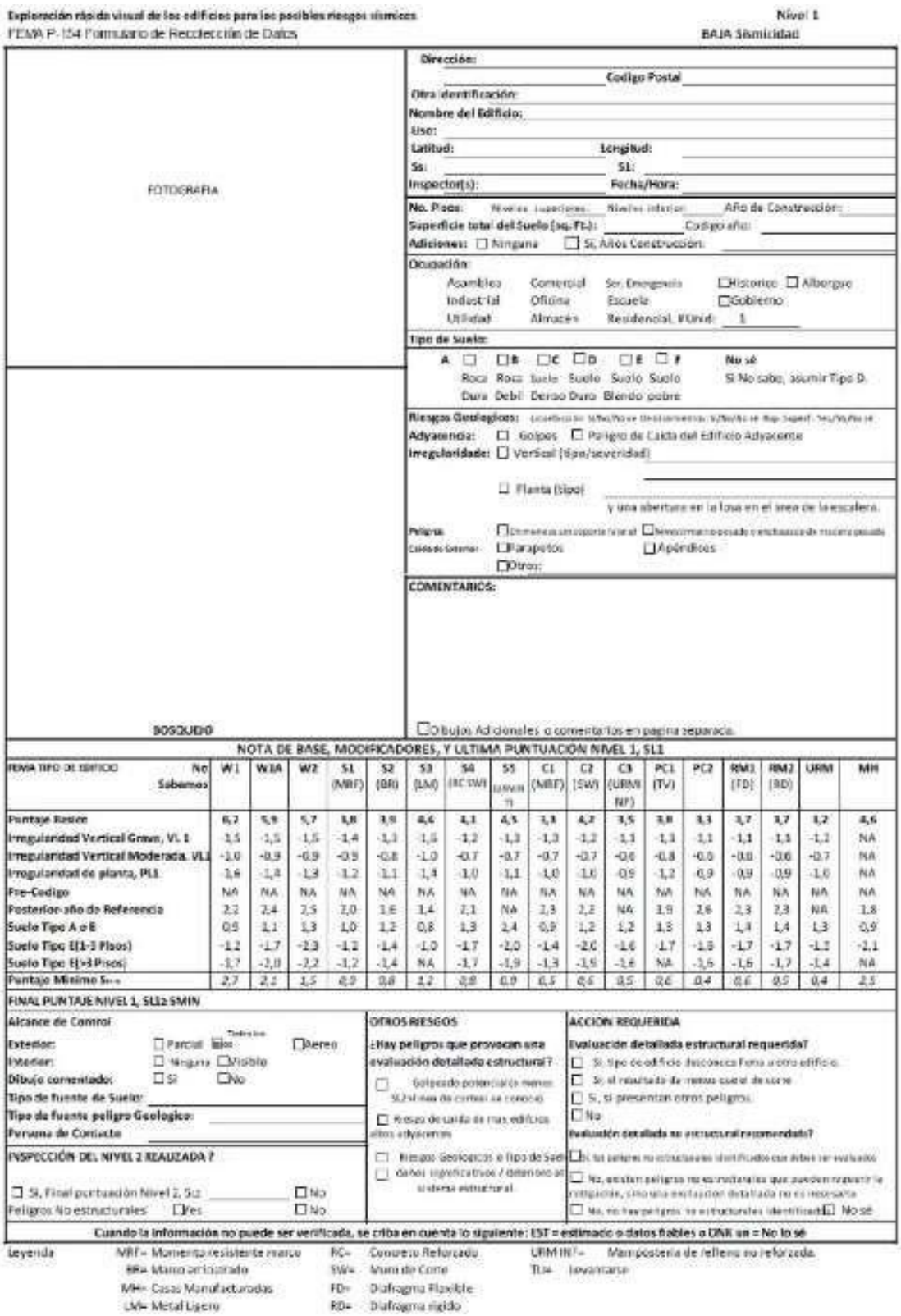
THEURER, M. M. (10 de febrero de 2015). *Universidad de Guayaquil.* Obtenido de Universidad de Guayaquil: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6200492

Universidad Industrial de Santander. (2018). *Universidad Industrial de Santander.* Obtenido de Universidad Industrial de Santander: https://www.researchgate.net/profile/Diego-Zafra-Otero/publication/322747134_Ondas_sismicas_su_importancia_para_la_geofisica_y_la_humanidad/links/5a6cef890f7e9bd4ca6c080c/Ondas-sismicas-su-importancia-para-la-geofisica-y-la-humanidad.pdf

5.5 **ANEXOS**

19 Ficha FEMA

A



Exploración rápida visual de los edificios para los posibles riesgos sísmicos — Nivel 1
FEMA P-154 Formulario de Recolección de Datos — BAJA Sismicidad

FOTOGRAFIA

Dirección:
Codigo Postal
Otra Identificación:
Nombre del Edificio:
Uso:
Latitud: Longitud:
Ss: S1:
Inspector(s): Fecha/Hora:

No. Pisos: Niveles Superiores: Niveles Inferior: Año de Construcción:
Superficie total del Suelo (sq. Ft.): Codigo año:
Adiciones: ☐ Ninguna ☐ Si, Años Construccion:

Ocupación:
Asamblea Comercial Ser. Emergencia ☐Historico ☐ Albergue
Industrial Oficina Escuela ☐Gobierno
Utilidad Almacén Residencial, # Unid: 1

Tipo de Suelo:
A ☐ Roca Dura ☐B Roca Debil ☐C Suelo Denso ☐D Suelo Duro ☐E Suelo Blando ☐ F Suelo pobre
No sé: Si No sabe, asumir Tipo D

Riesgos Geologicos: (condición: S/No/Desconocido; S/No/Si se Requiere: Yes/No/Si se
Adyacencia: ☐ Golpeo ☐ Peligro de Caida del Edificio Adyacente
Irregularidad: ☐ Vertical (tipo/severidad)
☐ Planta (tipo)
y una abertura en la losa en el area de la escalera.
Peligro: ☐ (Columnas sin soporte lateral) ☐ (Revestimiento pesado o enchapado de mucha altura)
Caidas de Escombros: ☐Parapetos ☐Apéndices
☐Otros:

BOSQUEJO

COMENTARIOS:

☐ Dibujos Adicionales o comentarios en pagina separada.

NOTA DE BASE, MODIFICADORES, Y ULTIMA PUNTUACIÓN NIVEL 1, SL1

FEMA TIPO DE EDIFICIO — No Sabemos	W1	W1A	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TV)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM	MH
Puntaje Basico	6,7	5,9	5,7	5,8	3,9	4,6	4,1	4,5	5,3	4,7	3,5	3,8	3,3	3,7	3,7	3,2	4,6
Irregularidad Vertical Grave, VL1	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,1	-1,5	-1,2	-1,3	-1,3	-1,2	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	NA
Irregularidad Vertical Moderada, VL1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-1,0	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-0,6	-0,7	NA
Irregularidad de planta, PL1	-1,6	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1	-1,4	-1,0	-1,1	-1,0	-1,0	-0,9	-1,2	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	NA
Pre-Codigo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Posterior-año de Referencia	2,1	2,4	2,5	2,0	1,6	1,4	2,1	NA	2,3	2,2	NA	1,9	2,6	2,3	2,3	NA	1,8
Suelo Tipo A o B	0,9	1,1	1,3	1,0	1,2	0,8	1,3	2,4	0,9	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,3	0,9
Suelo Tipo E(1-3 Pisos)	-1,2	-1,7	-2,3	-1,2	-1,4	-1,0	-1,7	-2,0	-1,4	-2,0	-1,6	-1,7	-1,3	-1,7	-1,7	-1,2	-2,1
Suelo Tipo E(>3 Pisos)	-1,7	-2,0	-2,2	-1,2	-1,4	NA	-1,7	-1,9	-1,3	-1,9	-1,6	NA	-1,5	-1,6	-1,7	-1,4	NA
Puntaje Mínimo Smin	2,7	2,1	1,5	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,4	2,5

FINAL PUNTAJE NIVEL 1, SL1≥SMIN

Alcance de Control
Exterior: ☐ Parcial ☐ Todos ☐ Bien
Interior: ☐ Ninguna ☐ Visible
Dibujo comentado: ☐ Si ☐ No
Tipo de fuente de Suelo:
Tipo de fuente peligro Geologico:
Persona de Contacto:

INSPECCIÓN DEL NIVEL 2 REALIZADA ?
☐ Si, Final puntuación Nivel 2, Sl2: ☐ No
Peligros No estructurales: ☐ Yes ☐ No

OTROS RIESGOS
¿Hay peligros que provocan una evaluación detallada estructural?
☐ Golpeado potencial (si menor SL2 si una de comer se conoce)
☐ Riesgo de caida de mas edificios altos adyacentes
☐ Riesgos Geologicos o Tipo de Suelo
☐ daños significativos / deterioro del sistema estructural

ACCIÓN REQUERIDA
Evaluación detallada estructural requerida?
☐ Si, tipo de edificio desconocido Fema u otro edificio
☐ Si, el resultado de menos cuerdo de score
☐ Si, si presentan otros peligros
☐ No
Evaluación detallada no estructural recomendada?
☐ Si, los peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados
☐ No, existen peligros no estructurales que pueden requerir la mitigación, sin embargo evaluación detallada no es necesaria
☐ No, no hay peligros no estructurales identificados ☐ No sé

Cuando la información no puede ser verificada, se criba en cuenta lo siguiente: EST = estimado o datos fiables o UNK us = No lo sé

Leyenda
MRF= Momento resistente marco
BR= Marco arriostrado
MH= Casas Manufacturadas
LM= Metal Ligero
RC= Concreto Reforzado
SW= Muro de Corte
FD= Diafragma Flexible
RD= Diafragma rigido
URM INF= Mampostería de relleno no reforzada
TU= Levantarse

ANEXO2

1.5. ACCIONES CONSIDERADAS

4.1.- Gravitatorias

Planta	S.C.U (t/m²)	Cargas permanentes (t/m²)
Nivel +6.20m	0.20	0.20
Nivel+3.205m	0.20	0.20
Nivel +0.20m	0.00	0.00
Fundación	0.00	0.00

4.2.- Viento

Sin acción de viento

4.3.- Sismo

Norma utilizada: NEC-SE-DS 2014

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN

Peligro sísmico. Diseño sismo resistente.

Método de cálculo: Análisis modal espectral (NEC-SE-DS 2014, 6.2.2e)

4.3.1.- Datos generales de sismo

Caracterización del emplazamiento

Zona sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.1.1): IV

Región sísmica (NEC-SE-DS 2014, 3.3.1): Sierra, Esmeraldas y Galápagos

Tipo de suelo (NEC-SE-DS 2014, 3.2.1): C

Sistema estructural

RX: Factor de reducción (X) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) **RX** : *8.00*

RY: Factor de reducción (Y) (NEC-SE-DS 2014, Tabla 15 y 16) **RY** : *8.00*

ΦP: Coeficiente de regularidad en planta (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3a) **ΦP** : *1.00*

ΦE: Coeficiente de regularidad en elevación (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3b) **ΦE** : *1.00*

Geometría en altura (NEC-SE-DS 2014, 5.2.3): Regular

Estimación del periodo fundamental de la estructura: Según norma

Sistema estructural (X) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

Sistema estructural (Y) (NEC-SE-DS 2014, 6.3.3a): III

h: Altura del edificio **h** : *6.20* m

Importancia de la obra (NEC-SE-DS 2014, 4.1): Otras estructuras

Parámetros de cálculo

Número de modos de vibración que intervienen en el análisis: Según norma

Fracción de sobrecarga de uso : *0.00*

Factor multiplicador del espectro : *1.00*

Efectos de la componente sísmica vertical

No se consideran

Verificación de la condición de cortante basal: Según norma

No se realiza análisis de los efectos de 2º orden

Criterio de armado a aplicar por ductilidad: Ninguno

Factores reductores de la inercia (NEC-SE-DS 2014, 6.1.6 b)

Vigas primarias frente a la acción sísmica: 0.5

Vigas secundarias frente a la acción sísmica: 0.01

Forjados primarios frente a la acción sísmica: 0.5

Forjados secundarios frente a la acción sísmica: 0.01

Columnas: 0.8

Tabiques: 0.6

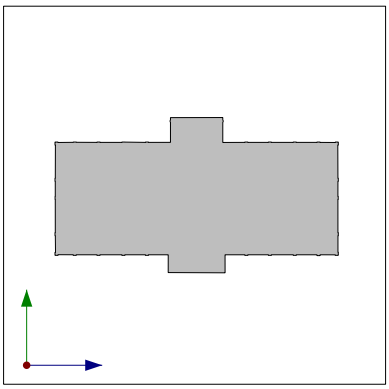
Muros: 0.6

Muros de mampostería: 0.5

Direcciones de análisis

Acción sísmica según X

Acción sísmica según Y



4.4.- Hipótesis de carga

Auto máticas	Peso propio Cargas permanentes Sobrecarga

4.5.- Listado de cargas

Cargas especiales introducidas (en t, t/m y t/m²)

Grupo	Hipótesis	Tipo	Valor	Coordenadas
Nivel +0.20m	Peso propio	Lineal	0.66	(22.84,7.63) (22.84,9.63)
	Peso propio	Lineal	1.58	(19.42,9.63) (19.42,7.63)
	Peso propio	Lineal	2.48	(19.42,5.23) (19.42,3.23)
	Cargas permanentes	Lineal	0.71	(22.84,7.63) (22.84,9.63)
	Cargas permanentes	Lineal	1.10	(19.42,9.63) (19.42,7.63)
	Cargas permanentes	Lineal	1.10	(19.42,5.23) (19.42,3.23)
	Sobrecarga de uso	Lineal	0.64	(22.84,7.63) (22.84,9.63)
	Sobrecarga de uso	Lineal	1.12	(19.42,9.63) (19.42,7.63)
	Sobrecarga de uso	Lineal	1.13	(19.42,5.23) (19.42,3.23)
Nivel+3.205m	Peso propio	Lineal	0.65	(22.92,3.23) (22.92,5.23)
	Cargas permanentes	Lineal	0.70	(22.92,3.23) (22.92,5.23)
	Sobrecarga de uso	Lineal	0.63	(22.92,3.23) (22.92,5.23)

1.6. 5.- ESTADOS LÍMITE

E.L.U. de rotura. Hormigón E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones	ACI 318M-11 ASCE 7
Desplazamientos	Acciones características

6.- SITUACIONES DE PROYECTO

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Situaciones persistentes o transitorias**

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{Gj}G_{kj}+\gamma_{P}P_{k}+\sum_{i\geq 1}\gamma_{Qi}Q_{ki}$$

- **Situaciones sísmicas**

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{Gj}G_{kj}+\gamma_{P}P_{k}+\gamma_{A_E}A_{E}+\sum_{i\geq 1}\gamma_{Qi}Q_{ki}$$

- Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

A_E Acción sísmica

γG Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γP Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$\gamma Q,1$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$\gamma Q,i$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

γAE Coeficiente parcial de seguridad de la acción sísmica

6.1.- Coeficientes parciales de seguridad (γ) y coeficientes de combinación (ψ)

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar serán:

E.L.U. de rotura. Hormigón: ACI 318M-11

E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: ACI 318M-11

2.3.2 - [1] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Cargapermanente (G)Sobrecarga (Q)	1.400	1.400

2.3.2 - [2 Lr] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G) Sobrecarga (Q)	1.200 0.000	1.200 1.600

2.3.2 - [2 S] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G) Sobrecarga (Q)	1.200 0.000	1.200 1.600

2.3.2 - [3 Lr, L] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable

Carga permanente (G) Sobrecarga (Q)	1.200 0.000	1.200 0.500

2.3.2 - [3 S, L] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G) Sobrecarga (Q)	1.200 0.000	1.200 0.500

2.3.2 - [3 Lr, W] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G) Sobrecarga (Q)	1.200	1.200

2.3.2 - [3 S, W] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G) Sobrecarga (Q)	1.200	1.200

2.3.2 - [4 Lr] (ASCE/SEI 7-10)

	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

2.3.2 - [4 S] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500

2.3.2 - [5] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.200	1.200
Sobrecarga (Q)	0.000	0.500
Sismo (E)	-1.000	1.000

2.3.2 - [6] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	0.900	0.900
Sobrecarga (Q)		

2.3.2 - [7] (ASCE/SEI 7-10)		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	0.900	0.900
Sobrecarga (Q)		
Sismo (E)	-1.000	1.000

Desplazamientos

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

Sísmica		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000

Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Sismo (E)	-1.000	1.000

6.2.- Combinaciones

- **Nombres de las hipótesis**

PP Peso propio

CM Cargas permanentes

Qa Sobrecarga de uso SX Sismo X

SY Sismo Y

- **E.L.U. de rotura. Hormigón**
- **E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones**

Comb.	PP	CM	Qa	SX	SY
1	1.400	1.400			
2	1.200	1.200			
3	1.200	1.200	1.600		
4	1.200	1.200		-1.000	
5	1.200	1.200	0.500	-1.000	
6	1.200	1.200		1.000	
7	1.200	1.200	0.500	1.000	
8	1.200	1.200			-1.000

9	1.200	1.200	0.500		-1.000
10	1.200	1.200			1.000
11	1.200	1.200	0.500		1.000
12	0.900	0.900			
13	0.900	0.900		-1.000	
14	0.900	0.900		1.000	
15	0.900	0.900			-1.000
16	0.900	0.900			1.000

Desplazamientos

Comb.	PP	CM	Qa	SX	SY
1	1.000	1.000			
2	1.000	1.000	1.000		
3	1.000	1.000		-1.000	
4	1.000	1.000	1.000	-1.000	
5	1.000	1.000		1.000	
6	1.000	1.000	1.000	1.000	
7	1.000	1.000			-1.000
8	1.000	1.000	1.000		-1.000
9	1.000	1.000			1.000
10	1.000	1.000	1.000		1.000

7.- DATOS GEOMÉTRICOS DE GRUPOS Y PLANTAS

Grupo	Nombre del grupo	Planta	Nombre planta	Altura	Cota
3	Nivel +6.20m	3	Nivel +6.20m	3.00	6.20
2	Nivel+3.205m	2	Nivel+3.205m	3.00	3.20
1	Nivel +0.20m	1	Nivel +0.20m	1.70	0.20
0	Fundación				-1.50

1.7. 8.- DATOS GEOMÉTRICOS DE COLUMNAS, TABIQUES Y MUROS

8.1.- Columnas

GI: grupo inicial GF: grupo final

Ang: ángulo de la columna en grados sexagesimales

Datos de las columnas

Referencia	Coord(P.Fijo)	GI- GF	Vinculación exterior	Ang.	Punto fijo	Altura de apoyo
A26	(46.66, 0.25)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A27	(0.24, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00

A28	(3.26, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A29	(7.19, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A30	(11.32, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A32	(19.38, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A33	(27.52, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A34	(31.68, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A35	(35.58, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A36	(39.71, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A37	(43.64, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A39	(0.25, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A40	(3.26, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00

Referencia	Coord(P.Fijo)	GI- GF	Vinculación exterior	Ang.	Punto fijo	Altura de apoyo
A42	(11.32, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A43	(15.22, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A45	(27.52, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A46	(31.68, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A47	(35.58, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A48	(39.71, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A49	(43.64, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A50	(46.65, 9.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A51	(0.24, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A53	(7.19, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A54	(11.32, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00

A55	(15.22, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A56	(19.38, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A57	(27.48, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A58	(31.68, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A59	(35.58, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A60	(39.71, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A61	(43.64, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A62	(46.66, 12.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A63	(46.66, 18.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A64	(43.64, 18.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A65	(39.71, 18.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A66	(35.58, 18.50)	0-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00

A67	(31.68, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A68	(27.52, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A69	(19.38, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A70	(15.22, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A71	(11.32, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	C entro	0.00
A72	(7.19, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A73	(3.26, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A74	(0.24, 18.50)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A75	(3.26, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A76	(7.19, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A77	(19.38, -1.42)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A78	(15.22, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00

A79	(19.38, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A80	(20.88, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A81	(26.02, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A82	(27.52, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A83	(31.68, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A84	(35.58, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A85	(39.71, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A86	(43.64, 0.20)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00
A87	(11.32, 0.25)	-3	Con vinculación exterior	0.0	Centro	0.00

Referencia	Coord(P.Fijo)	GI- GF	Vinculación exterior	Ang.	Punto fijo	Altura de apoyo
A88	(20.88, -1.42)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A89	(26.02, -1.42)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00

A90	(27.52, -1.42)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A91	(0.24, 0.25)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A92	(20.88, 22.22)	2-3	Sin vinculación exterior	.0	Centro	
A93	(26.02, 22.22)	2-3	Sin vinculación exterior	.0	Centro	
A94	(27.52, 22.22)	2-3	Sin vinculación exterior	.0	Centro	
A95	(19.38, 21.56)	0-2	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A96	(27.52, 21.56)	0-2	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A97	(19.38, 22.22)	2-3	Sin vinculación exterior	.0	Centro	
A98	(15.22, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A99	(46.66, 3.50)	0-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A100	(3.26, 12.50)	-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00
A101	(7.19, 9.50)	-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00

A102	(19.38, 9.50)	-3	Con vinculación exterior	.0	Centro	0.00

1.8.9.- DIMENSIONES, COEFICIENTES DE EMPOTRAMIENTO Y COEFICIENTES DE PANDEO PARA CADA PLANTA

A26, A91						
Planta	Dimensiones (cm)	Coeficiente de empotramiento		Coeficiente de pandeo		Coeficiente de rigidez axil
		Cabeza	Pie	X	Y	
3	Diámetro 50	0.30	1.00	1.00	1.00	2.00
2	Diámetro 50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
1	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00

A27, A28, A29, A30, A32, A33, A34, A35, A36, A37, A39, A40, A42, A43, A45, A46, A47, A48, A49, A50, A51, A53, A54, A55, A56, A57, A58, A59, A60, A61, A62, A63, A64, A65, A66, A67, A68, A69, A70, A71, A72, A73, A74, A75, A76, A78, A79, A80, A81, A82, A83, A84, A85, A86, A87						
Planta	Dimensiones (cm)	Coeficientede empotramiento		Coeficiente de pandeo		Coeficiente de rigidez axil
		Cabeza	Pie	X	Y	
3	50x50	0.30	1.00	1.00	1.00	2.00
2	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
1	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00

A77, A88, A89, A90

Planta	Dimensiones (cm)	Coeficiente de empotramiento		Coeficiente de pandeo		Coeficiente de rigidez axil
		Cabeza	Pie	X	Y	
3	Diámetro 70	0.30	1.00	1.00	1.00	2.00
2	Diámetro 70	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
1	Diámetro 70	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00

A95, A96						
Planta	Dimensiones (cm)	Coeficiente de empotramiento		Coeficiente de pandeo		Coeficiente de rigidez axil
		Cabeza	Pie	X	Y	
2	50x50	0.30	1.00	1.00	1.00	2.00
1	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00

A92, A93, A94, A97						
Planta	Dimensiones (cm)	Coeficiente de empotramiento		Coeficiente de pandeo		Coeficiente de rigidez axil
		Cabeza	Pie	X	Y	
3	Diámetro 65	0.30	1.00	1.00	1.00	2.00

A98, A99, A100, A101, A102						
Planta	Dimensiones (cm)	Coeficiente de empotramiento		Coeficiente de pandeo		Coeficiente de rigidez axil
		Cabeza	Pie	X	Y	
3	50x30	0.30	1.00	1.00	1.00	2.00
2	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00
1	50x50	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00

1.9. 10.- LISTADO DE PAÑOS

Casetonados considerados

Nombre	Descripción
LOSA 20CM ALIVIANDA	Alivianada 40x20x15cm Casetón perdido Nº de piezas: 2 Peso propio: 0.306 t/m² Altura: 20 cm Capa de compresión: 5 cm Intereje: 50 cm Anchura del nervio: 10 cm

1.10. 11.- MATERIALES UTILIZADOS

11.1.- Hormigones

Elemento	Hormigón	f'c (kp/cm²)	Tamaño máximo del árido (mm)	Ec (kp/cm²)
Todos	f'c=210	210	15	219689

11.2.- Aceros por elemento y posición

11.2.1.- Aceros en barras

Elemento	Acero	fyk (kp/cm²)	□s
Todos	Grado 60 (Latinoamérica)	4200	1.00

11.2.2.- Aceros en perfiles

Tipo de acero para perfiles	Acero	Límite elástico (kp/cm²)	Módulode elasticidad (kp/cm²)
Acero conformado	ASTM A 36 36 ksi	2548	2069317
Acero laminado	ASTM A 36 36 ksi	2548	2038736