



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**DAÑOS ESTRUCTURALES GENERADOS POR SISMOS Y PROPUESTA
DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL PARA LA UNIDAD EDUCATIVA
DIVISION DE INFANTERIA - GUAYAQUIL**

TUTOR

MGTR. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA

AUTORES

GLOCTIS JONNIER CUSME GOMEZ

GEOVANNY JOSUE LEGUISAMO MOREIRA

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Daños Estructurales Generados Por Sismos y Propuesta De Reforzamiento Estructural Para La Unidad Educativa División De Infantería – Guayaquil

AUTOR/ES:

Cusme Gomez Gloctis Jonnier
Leguisamo Moreira Geovanny Josue

TUTOR:

Mgtr. July Roxana Herrera Valencia

INSTITUCIÓN:

**Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil**

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERO CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2024

N. DE PÁGS:

120

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Sismología, Ecuador, Daño, Norma, Amenaza natural

RESUMEN:

La historia sismológica de Ecuador revela una variedad de eventos, desde sismos de pequeña magnitud pasados por alto hasta desastres históricos como el sismo de Pedernales en 2016. Guayaquil, ubicada en una zona costera y afectada por fallas de subducción, experimenta una liberación significativa de energía sísmica.

Las estructuras, sometidas a fuerzas sísmicas, enfrentan riesgos de daños estructurales y no estructurales, siendo los primeros más críticos debido a su potencial para causar colapsos y pérdida de vidas humanas. La vulnerabilidad sísmica de una estructura está

estrechamente relacionada con su seguridad, procesos constructivos deficientes y edad, así como con la amenaza sísmica en su ubicación.

La Unidad Educativa "División de Infantería" de Guayaquil, con 55 años de antigüedad, fue seleccionada como caso de estudio debido a su importancia social y su daño durante el sismo de 2023. Se busca evaluar su comportamiento frente a sismos utilizando la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15 y considerando el tipo de suelo en Guayaquil.

El trabajo de titulación adopta un enfoque investigativo mixto, combinando observación cualitativa en sitio con análisis cuantitativos mediante la herramienta de elementos finitos Etabs. Se identificaron desplazamientos no deseados, derivas máximas de piso y demandas de refuerzo de acero, proponiendo diafragmas metálicos rígidos de arriostramiento concéntrico tipo "X" para mejorar su comportamiento frente a eventos sísmicos.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Cusme Gomez Gloctis Jonnier Leguisamo Moreira Geovanny Josue	Teléfono: +593 985131807 +593 987129022	E-mail: gcusmeg@ulvr.edu.ec gleguisamom@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Ph.D Marcial Calero Amores Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec MGTR. Eliana Contreras Jordán Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 242 E-mail: econtrerasj@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

DAÑOS ESTRUCTURALES GENERADOS POR SISMOS Y PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL PARA LA UNIDAD EDUCATIVA DIVISION DE INFANTERIA

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	7 %	1 %	2 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to UNIBA Trabajo del estudiante	1 %
2	digibuo.uniovi.es Fuente de Internet	<1 %
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
4	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
5	Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Trabajo del estudiante	<1 %
6	www.saludvital.cl Fuente de Internet	<1 %
7	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
8	geotecniafacil.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias Apagado

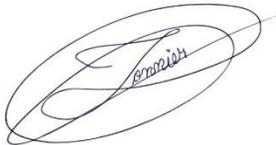
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados **GLOCTIS JONNIER CUSME GOMEZ** y **GEOVANNY JOSUE LEGUISAMO MOREIRA**, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, **Daños Estructurales Generados Por Sismos y Propuesta De Reforzamiento Estructural Para La Unidad Educativa División De Infantería – Guayaquil**, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autores

Firma:



GLOCTIS JONNIER CUSME GOMEZ

C.I. 0803564053

Firma:



GEOVANNY JOSUE LEGUISAMO MOREIRA

C.I. 0923689640

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación **Daños Estructurales Generados Por Sismos y Propuesta De Reforzamiento Estructural Para La Unidad Educativa División De Infantería – Guayaquil**, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de **Ingeniería Industria Y Construcción** de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: **Daños Estructurales Generados Por Sismos y Propuesta De Reforzamiento Estructural Para La Unidad Educativa División De Infantería – Guayaquil**, presentado por los estudiantes **GLOCTIS JONNIER CUSME GOMEZ** y **GEOVANNY JOSUE LEGUISAMO MOREIRA**, como requisito previo, para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

MGTR. JULY ROXANA HERRERA VALENCIA

C.C. 0916201569

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a mi madre la Lcda. Karla Gomez Abad a lo largo de mi vida, has sido mi fuente inagotable de amor, fortaleza y sabiduría. Tu apoyo incondicional y tu constante aliento han sido el faro que me ha guiado en los momentos más desafiantes, en este viaje académico, tu presencia ha sido mi mayor inspiración. Tus palabras de aliento y tus abrazos han sido mi refugio cuando el camino se volvía arduo, a mis amigos y familiares, quienes me han brindado un apoyo inquebrantable a lo largo de este arduo proceso. Su aliento y comprensión han sido un faro de luz en los momentos más desafiantes. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Este proyecto no habría sido posible sin el apoyo incondicional y la colaboración de diversos individuos. Quiero agradecer a mi tutora de tesis, Mgtr. July Herrera V, por su orientación experta, paciencia y dedicación. Agradezco al Ing. Marcelo Uvidia, sus valiosos consejos y dirección fueron fundamentales para dar forma y mejorar este trabajo de investigación.

Mi gratitud se extiende a mis amigos y familiares, quienes me han brindado un apoyo inquebrantable a lo largo de este arduo proceso. Su aliento y comprensión han sido un faro de luz en los momentos más desafiantes. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a mis padres, Karla Gomez y Ramiro Cusme quienes me han brindado su amor incondicional, su apoyo constante y su sabiduría a lo largo de toda mi vida gracias por creer en mí incluso cuando dudaba de mí mismo. Gracias por sus sacrificios, sus consejos y por ser mi ejemplo de perseverancia y dedicación. A mi familia y amigos, quienes han compartido risas, consejos y momentos memorables a lo largo de esta travesía académica. Su compañía ha hecho que este viaje sea aún más gratificante. Que este trabajo sea un modesto tributo a quienes han sido parte de mi vida y han hecho posible este sueño.

Gloctis Jonnier Cusme Gomez

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias para culminar esta etapa de estudio y finalizar mi carrera profesional. Además, agradezco de todo corazón a mi familia y familiares por su constante respaldo y amor incondicional.

Asimismo, deseo extender mi profundo agradecimiento a mis padres, la Mgtr. Jessica Moreira Baidal y al Mgtr. Geovanny Leguisamo Llanganate, por su constante orientación en el sendero del bien, su apoyo inquebrantable y sus palabras de aliento durante todo este proceso de formación. Su presencia constante y su respaldo incondicional han sido mi mayor motivación.

Además, no puedo dejar de agradecer a mi primo, el Mgtr. Marcelo Uvidia Leguisamo, por su disposición inquebrantable para brindarme ayuda, explicaciones y consejos siempre que los he necesitado. Su apoyo ha sido invaluable y ha contribuido significativamente a mi éxito académico.

Por último, expresar mi profundo agradecimiento a la Mgtr. July Herrera Valencia por su orientación experta y dedicación en el desarrollo de nuestra tesis. Su compromiso y disponibilidad fueron invaluable para el éxito de este proyecto. Gracias por hacer posible nuestra culminación académica.

DEDICATORIA

Dedicó este trabajo a Dios por brindarme fuerza y sabiduría durante este proceso de tesis. También a mis padres por su constante apoyo, tanto en los momentos buenos como en los difíciles, por sus valiosos consejos y su amor incondicional. Del mismo modo, agradezco a mi hermana Allyson y a mi hermano Javier por estar siempre presentes y por brindarme su amor incondicional. No puedo olvidar a mi abuelita, la Srta. Bertha Moreira, quien siempre creyó en mí y sé que desde el cielo estará feliz de verme culminar esta etapa profesional. Sin más que decir, dedico este título a ustedes, mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo y motivación. Gracias.

Geovanny Josue Leguisamo Moreira

RESUMEN – ABSTRACT

Ecuador's seismological history reveals a variety of events, from overlooked small magnitude earthquakes to historic disasters such as the Pedernales earthquake in 2016. Guayaquil, located in a coastal area and affected by subduction faults, experiences a significant release of energy seismic.

Structures, subjected to seismic forces, face risks of structural and non-structural damage, the former being more critical due to their potential to cause collapses and loss of human life. The seismic vulnerability of a structure is closely related to its safety, poor construction processes and age, as well as the seismic threat at its location.

The "Infantry Division" Educational Unit of Guayaquil, 55 years old, was selected as a case study due to its social importance and its damage during the 2023 earthquake. It seeks to evaluate its behavior against earthquakes using the Ecuadorian Standard of NEC-15 construction and considering the type of soil in Guayaquil.

The degree work adopts a mixed investigative approach, combining qualitative on-site observation with quantitative analysis using the Etabs finite element tool. Undesired displacements, maximum floor drifts and demands for steel reinforcement were identified, proposing rigid metal diaphragms with concentric bracing type "X" to improve their behavior against seismic events.

Keywords

Seismology, Ecuador, Damage, Standard, Natural Hazard

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1 ENFOQUE DE LA PROPUESTA.....	2
1.1 Tema:.....	2
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Formulación del Problema.....	3
1.4 Objetivo General	3
1.5 Objetivos Específicos	3
1.6 Hipótesis	4
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	4
2 Marco Teórico.....	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Sismos.....	7
2.2.1 Sismos en Ecuador	9
2.2.2 Daños producidos por sismos en Unidades Educativas.....	15
2.3 Fallas geológicas	20
2.3.1 Principales fallas geológicas en el mundo	21
2.3.2 Causas de las fallas geológicas	25
2.3.3 Tipos de fallas geológicas.....	26
2.4 PELIGRO SÍSMICO.....	26
2.5 REFORZAMIENTO ESTRUTURAL	28
2.5.1 Tipos de Reforzamiento estructural.....	28
2.5.1.1 fibras de carbono.....	28
2.5.1.2 Refuerzo estructural con adición de barras de refuerzo	30

2.5.1.3	Colocación de muros de corte	31
2.5.1.4	Diafragmas rigidizadores	33
2.5.2	Sistemas de disipación de energía.....	34
2.5.2.1	Disipadores de viscosidad	34
2.5.2.2	aislamiento sísmico	36
2.5.2.3	Masa sintonizada.....	37
2.6	MARCO LEGAL	39
2.6.1	NORMAS NEC-2015.....	39
2.6.1.1	Filosofía de diseño sismo resistente.....	39
2.6.2	NORMAS ACI 318-14	40
2.6.3	NORMAS ASCE 7-16.....	41
2.6.3.1	Criterios de diseño sísmico GENERALIDADES.....	41
3	Capítulo III	43
3.1	Enfoque de la investigación	43
3.2	Alcance de la investigación	43
3.3	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	44
3.3.1	Instrumentos.....	44
3.3.2	TÉCNICA DE OBSERVACIÓN	44
3.4	Población y muestra	51
3.5	LOCALIZACIÓN.....	51
	CAPITULO IV	53
4	PROPUESTA	53
4.1	Presentación y análisis de resultados.....	53
4.1.1	Parámetros de análisis.....	54
4.1.1.1	Materiales	54

4.1.1.2	Cargas consideradas	54
4.1.1.3	Combinaciones de carga	57
4.1.2	Modelo estructural sin propuesta de reforzamiento	57
4.1.2.1.1	Ejes geométricos de la estructura	57
4.1.2.1.2	Materiales.....	58
4.1.2.1.3	Definición de elementos estructurales	59
4.1.2.1.3.1	Columnas y Vigas	59
4.1.2.1.3.2	Losa	59
4.1.2.2	Asignación de elementos estructurales	60
4.1.2.3	Patrones de carga	62
4.1.2.4	Cargas consideradas	62
4.1.2.4.1	Dead Load.....	63
4.1.2.4.2	SD Load	63
4.1.2.4.3	Live load	63
4.1.2.4.4	Sismo.....	64
4.1.2.5	Diafragma rígido	64
4.1.2.6	Masa de la estructura.....	64
4.1.2.7	Casos de carga para el análisis.....	65
4.1.2.8	Combinaciones de diseño	66
4.1.2.9	Resultados del análisis espectral sin propuesta de reforzamiento.....	66
4.1.2.9.1	Desplazamientos.....	67
4.1.2.9.2	Derivas de piso	68
4.1.2.9.3	Cortante de piso.....	70
4.1.2.9.4	Análisis Modal	71
4.1.2.9.5	Demanda de acero requerido en elementos estructurales	72

4.1.2.9.6	Evaluación del comportamiento estructural inicial.....	77
4.1.3	Modelo estructural con propuesta de reforzamiento.....	78
4.1.3.1	Resultados del análisis espectral con propuesta de reforzamiento	79
4.1.3.1.1	Desplazamientos.....	80
4.1.3.1.2	Derivas de piso	81
4.1.3.1.3	Análisis Modal	82
4.1.3.1.4	Demanda de acero requerido en elementos estructurales	83
4.1.3.1.5	Evaluación del comportamiento estructural con reforzamiento.....	88
CONCLUSIONES.....		91
RECOMENDACIONES		92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	10
Figura 2.....	11
Figura 3.....	13
Figura 4.....	14
Figura 5.....	16
Figura 6.....	18
Figura 7	19
Figura 8.....	22
Figura 9.....	23
Figura 10.....	23
Figura 11	24
Figura 12.....	25
Figura 13.....	27
Figura 14.....	29
Figura 15.....	31
Figura 16.....	32
Figura 17.....	33
Figura 18.....	35
Figura 19.....	36
Figura 20.....	38
Figura 21.....	44
Figura 22.....	45
Figura 23.....	46
Figura 24.....	46
Figura 25.....	47
Figura 26.....	47
Figura 27	48
Figura 28.....	48
Figura 29.....	49
Figura 30.....	49

Figura 31.....	50
Figura 32.....	50
Figura 33.....	51
Figura 34.....	52
Figura 35.....	55
Figura 36.....	56
Figura 37.....	56
Figura 38.....	58
Figura 39.....	58
Figura 40.....	59
Figura 41.....	60
Figura 42.....	61
Figura 43.....	61
Figura 44.....	62
Figura 45.....	63
Figura 46.....	64
Figura 47.....	65
Figura 48.....	65
Figura 49.....	66
Figura 50.....	67
Figura 51.....	67
Figura 52.....	68
Figura 53.....	69
Figura 54.....	69
Figura 55.....	70
Figura 56.....	71
Figura 57.....	71
Figura 58.....	72
Figura 59.....	73
Figura 60.....	73
Figura 61.....	74

Figura 62.....	74
Figura 63.....	75
Figura 64.....	75
Figura 65.....	76
Figura 66.....	76
Figura 67.....	77
Figura 68.....	79
Figura 69.....	79
Figura 70.....	80
Figura 71.....	80
Figura 72.....	81
Figura 73.....	82
Figura 74.....	83
Figura 75.....	83
Figura 76.....	84
Figura 77.....	84
Figura 78.....	85
Figura 79.....	85
Figura 80.....	86
Figura 81.....	86
Figura 82.....	87
Figura 83.....	87
Figura 84.....	88

INDICE DE TABLA

Tabla 1	51
Tabla 2	53
Tabla 3	54

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1	97
Anexo 2	97
Anexo 3	98
Anexo 4	98
Anexo 5	99
Anexo 6	100
Anexo 7	101
Anexo 8	102
Anexo 9	103

INTRODUCCIÓN

La historia sismológica de Ecuador es extensa, con registros de sismos de pequeña magnitud que a menudo pasan desapercibidos, así como de eventos históricos que han ocasionado grandes pérdidas económicas y humanas, como el sismo de Pedernales en 2016. Guayaquil, ubicada en la zona costera, es mayormente afectada por fallas de subducción entre placas oceánicas y continentales, liberando cantidades significativas de energía.

Las estructuras, sometidas a fuerzas sísmicas, pueden sufrir daños estructurales y no estructurales, siendo los primeros los más críticos debido a su potencial para causar el colapso y pérdida de vidas humanas. La vulnerabilidad sísmica de una estructura está vinculada directamente a su seguridad y al peligro sísmico, siendo más vulnerables aquellas con irregularidades en planta, elevación, procesos constructivos deficientes y edad avanzada, así como a la amenaza sísmica presente en la zona donde se encuentran.

La Unidad Educativa "División de Infantería" de Guayaquil se seleccionó como caso de estudio debido a su importancia social y la estructura, con 55 años de antigüedad, alberga estudiantes, profesores y padres de familia. Dañada por el sismo del 18 de marzo de 2023, se plantea evaluar su comportamiento frente al sismo de diseño de la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15, considerando un suelo de tipo E para Guayaquil.

El trabajo de titulación utiliza un enfoque investigativo mixto, combinando observación cualitativa en sitio con análisis cuantitativos mediante la herramienta de elementos finitos Etabs. Se realizó un análisis modal espectral de la estructura, identificando desplazamientos no deseados, derivas máximas de piso y demandas de acero de refuerzo. Se propone reforzar la estructura con diafragmas metálicos rígidos de arriostamiento concéntrico tipo "X" en los pórticos extremos, demostrando un comportamiento más adecuado frente al evento sísmico propuesto y alineado con la normativa vigente.

CAPÍTULO I

1 ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema:

“Daños Estructurales Generados Por Sismos y Propuesta De Reforzamiento Estructural Para La Unidad Educativa División De Infantería – Guayaquil”

1.2 Planteamiento del Problema

El análisis del fenómeno sísmico revela que este se desencadena por un rápido desplazamiento de la tierra, originado por la liberación instantánea de energía acumulada a lo largo del tiempo. Este desplazamiento se manifiesta como vibraciones bruscas en la superficie terrestre, siendo comúnmente desencadenado por la actividad de fallas geológicas, aunque también puede tener origen en otras causas como la fricción en los límites de placas tectónicas, fenómenos volcánicos o incluso actividades humanas como detonaciones nucleares subterráneas.

Los sismos representan una amenaza significativa para las estructuras en todo el mundo, pudiendo causar daños estructurales y no estructurales, poniendo en riesgo la seguridad de las personas que ocupan estos edificios. Ecuador, debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, se destaca como particularmente vulnerable a estos eventos debido a su histórica alta actividad sísmica, así como el sismo de marzo de 2023 con epicentro al norte de la Isla Puná en el Golfo de Guayaquil, el mismo que fue sentido fuertemente en la parte sur de la provincia del Guayas ocasionando intensidades de 5-6 (EMS) en la ciudad de Guayaquil.

En el caso específico de Ecuador, los terremotos de gran magnitud son relativamente comunes y pueden generar impactos significativos. Sin embargo, a pesar de su frecuencia, raramente resultan en daños devastadores, aunque se han registrado eventos como el sismo de Pedernales en abril de 2016, que causó pérdidas humanas y materiales considerables.

Los sismos han causado daños significativos en infraestructuras de tipo viviendas y establecimientos educativos a nivel nacional. Este último sector es especialmente

vulnerable debido a su importancia social por el gran número de personas que los ocupan diariamente, la edad de construcción de sus estructuras y la falta de procesos técnicos en sus reparaciones.

La Región 8 de Ecuador ha experimentado recientemente daños importantes en infraestructuras educativas debido a sismos, como el ocurrido en marzo de 2023, que afectó a la Unidad Educativa "División de Infantería" en Guayaquil, poniendo en riesgo la seguridad de estudiantes y personal. Es importante mencionar que esta unidad educativa fue construida hace 55 años, lo que puede influir en su vulnerabilidad estructural ante eventos sísmicos.

Es necesario tomar medidas para garantizar la seguridad de los estudiantes y el personal en las unidades educativas, particularmente en lo concerniente a los daños estructurales causados por los sismos. La importancia del análisis detallado y la implementación de medidas de reforzamiento estructural para garantizar un entorno educativo seguro y resistente ante futuros eventos sísmicos.

1.3 Formulación del Problema

¿Cómo contribuirá el reforzamiento estructural a la unidad educativa, ante la presencia del sismo de diseño para un suelo de tipo E, en la ciudad de Guayaquil, utilizando la normativa NEC-15?

1.4 Objetivo General

Proponer el reforzamiento estructural para mejorar el comportamiento de la estructura de la Unidad Educativa "División de Infantería" de Guayaquil, mediante los resultados obtenidos en el programa ETABS.

1.5 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de los daños causados por fuerzas sísmicas en la estructura de la Unidad Educativa "División de Infantería" de Guayaquil.
- Analizar dos modelos matemáticos mediante el programa Etabs uno con reforzamiento estructural y otro sin reforzamiento, utilizando la NEC 15.
- Elaborar la propuesta de reforzamiento estructural para la Unidad Educativa "División de Infantería" de Guayaquil.

1.6 Hipótesis

La incidencia del sismo en la ciudad de Guayaquil ha causado daños estructurales en la Unidad Educativa División de Infantería, lo que compromete la seguridad de los estudiantes y el personal docente. Para mitigar estos riesgos, se propone implementar un programa de reforzamiento estructural que fortalezca y proteja la infraestructura del plantel educativo.

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En el presente trabajo de investigación se justifican datos y hallazgos surgidos de investigaciones previas realizadas por otros investigadores, los cuales han sido fuente indispensable para el desarrollo del proyecto en cuestión. Estos aportes externos confieren la validez necesaria al tema objeto de estudio en esta investigación.

Según Valenzuela, R. (2019). Se establecieron estructuras de pórticos arriostrados de varios niveles sin losas intermedias (MTBF), los cuales son empleados en construcciones de gran altura con el propósito de evitar la formación de secciones demasiado amplias y con inclinaciones pronunciadas. Estas configuraciones son comunes en el ámbito industrial, Las cuales analizan la plastificación, desplazamiento y comportamiento sísmico mediante análisis no lineales estáticos y dinámicos utilizando el software SAP2000 v20.2. Su propósito es caracterizar y mejorar la comprensión del rendimiento de estos sistemas estructurales.

Según Carrillo, R. (2016). Demostró sus objetivos contrastando los resultados del análisis de una residencia de cinco pisos con varios tipos de estructuras metálicas. El uso del software ETABS 2015. Los resultados del análisis estático indican que las estructuras satisfacen los requisitos mínimos establecidos por el NEC, enfatizando la importancia fundamental del arriostramiento para mejorar la resistencia para sismos a fuerzas laterales y reducir deflexiones y períodos en el piso. Estos elementos permiten reducir secciones y peso en la estructura, en función de la longitud del arriostramiento.

Según Pillajo, J., Sarmiento, E. (2009). Llevaron a cabo la planificación del diseño de estructuras metálicas para edificaciones, específicamente en la zona costera del Ecuador utilizando el acero A-588 para afrontar las condiciones climáticas y reducir la carga sobre la estructura, siguiendo el cumplimiento de la normativa ASCE 07-05 y AISC, se utiliza ETABS 9.5 para la simulación y las conexiones se establecen de acuerdo con el código AWS D1.1, garantizando calidad y seguridad durante la producción y montaje.

Según Fuentes, S., González, L., Calderín, F., Sánchez Y. (2018). Establecieron diseño de estructuras para resistir sismos abarca una variedad de materiales como mampostería, hormigón armado y acero estructural, siendo este último conocido por su comportamiento elástico. Sin embargo, esta característica del acero no siempre se refleja en la estabilidad estructural, lo que requiere un control riguroso, especialmente en las zonas de compresión.

Según Lambert, M., Méndez, L. (2023). Establecieron un al fortalecimiento de las columnas y vigas de la Iglesia Stella Maris, Utilizando Etabs para el modelado, se evaluó cómo responde la estructura a eventos sísmicos y se propusieron estrategias de refuerzo en línea con regulaciones como NEC, ACI 318-14 y ASE 7-16. Se demostró que el uso de láminas de tela de fibra de carbono es más efectivo que el revestimiento de acero, ofreciendo mayor resistencia a la tracción y reduciendo los daños en caso de terremoto. Este análisis respalda la implementación rápida y efectiva de tejido de fibra de carbono para mejorar la estabilidad estructural de la Iglesia Stella Maris, cumpliendo con la normativa sísmica del Ecuador.

Según Toapanta, A., Troya, E. (2022). Plantean que el uso generalizado de programas de diseño y dibujo es fundamental en la ingeniería estructural, tanto en grandes proyectos como en viviendas unifamiliares. La metodología BIM ha adquirido una importancia crítica en la industria de la construcción, al igual que la gestión de archivos digitales en proyectos civiles.

Según Herrera, A., Nuñez, T. (2023). Señalan que el crecimiento constante de la población en las zonas urbanas del mundo, proyectado en un 86% para 2050, da como resultado una mayor concentración en las ciudades y áreas metropolitanas, lo que deja a las poblaciones periféricas más vulnerables. En el país, los nuevos desarrollos inmobiliarios suelen ser inasequibles para muchos debido a sus altos costos, lo que lleva a una reducción de la calidad y la sostenibilidad de la vivienda.

Según Tapia, L., Parra, I. (2023). Plantean evaluar la capacidad de elementos estructurales para resistir fallas por cortante, comparando concreto convencional y concreto reforzado con fibra de vidrio en diferentes proporciones. Se destacan los principios, procedimientos y características mecánicas relevantes para su desarrollo y

aplicación, teniendo en cuenta aspectos críticos como el tramo de mayor vulnerabilidad y la orientación de los refuerzos. Asimismo, se examinan las propiedades físicas de las fibras de vidrio en el hormigón, como su volumen, peso y masa, y se realiza un análisis económico para determinar la viabilidad de su implementación en proyectos de ingeniería civil.

Según Caicedo, Yaina. (2022). Destaca que los muros de corte juegan un papel esencial en el fortalecimiento de estructuras, reduciendo el movimiento lateral y el daño a elementos no estructurales durante los terremotos, además reducen las oscilaciones e inclinaciones del suelo, lo que aumenta la capacidad de los edificios para resistir el colapso.

Según López, J. (2022). Señala que los eventos sísmicos representan una amenaza significativa para las estructuras, especialmente las viviendas, lo que enfatiza la importancia de la participación activa de profesionales en Ingeniería Civil y Arquitectura, destacando la urgente necesidad de implementar medidas de reconstrucción antisísmica y mejorar la calidad de la mano de obra, así como cumplir con las normativas urbanísticas vigentes.

2.2 Sismos

La palabra sismo o terremoto simplemente significa "movimiento de la tierra", sin embargo, en términos más profesionales un terremoto se define como un movimiento repentino o vibración de la corteza terrestre causado por la liberación de energía contenida dentro de la tierra y se difunde en forma de ondas sísmicas.

Sismos o terremoto también llamado es un movimiento inesperado y violento de la tierra. Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), este fenómeno que puede desaparecer ciudades y edificios en su totalidad. (REDACCIÓN NATIONAL GEOGRAPHIC, 2023)

El llamado sismo o terremoto tiene un núcleo llamado hipocentro, donde se genera el flujo de energía por otro lado el epicentro es el lugar ubicado en la superficie del hipocentro los cuales se miden por la escala de Richter que van desde los 2.0 micro sismos hasta los 10 grados jamás registrados.

Los acontecimientos sísmicos suelen suceder periódicamente con el movimiento de placas tectónicas en la tierra a lo largo de los siglos, a su vez esto permitió a los sismólogos estudiar el comportamiento de las placas dando como resultado el poder prevenir los próximos acontecimientos sísmicos que puedan suceder a lo largo de los años.

Las estructuras o edificaciones están sujetas a fuerzas sísmicas durante un sismo, lo que puede causar muchos daños significativos. La respuesta sísmica de una estructura depende de varios factores, como la frecuencia natural de la estructura, la rigidez, la masa, la amortiguación y la forma en que se construyó.

Durante un sismo, las estructuras pueden experimentar diferentes tipos de daños, que pueden clasificarse en daños estructurales y no estructurales. Los daños estructurales suelen ser más graves y pueden incluir fallas en elementos estructurales, como columnas y vigas, así como el colapso total o parcial de la estructura, mientras que los daños no estructurales pueden ocasionarla caída de ciertos materiales de una estructura.

La mitigación de daños busca amenorar los riesgos asociados a los acontecimientos sismos y minimizar los daños en las estructuras. Esto implica la implementación de medidas de diseño y construcción adecuadas, como el uso de materiales resistentes a los sismos, la incorporación de sistemas de aislamiento sísmico y la mejora de la capacidad de disipación de energía de las estructuras durante los acontecimientos sísmicos.

Para garantizar la seguridad de las estructuras, muchos países cuentan con normativas y códigos de construcción que establecen los requisitos mínimos para el diseño sísmico de las estructuras. Estos códigos se basan en investigaciones científicas y en la experiencia acumulada a lo largo de los años.

Algunos países, como Japón, han enfrentado sismos con regularidad y han implementado regulaciones estrictas para garantizar que las escuelas sean resistentes a los terremotos. Estas medidas incluyen tecnologías avanzadas de construcción y

protocolos de seguridad. Las lecciones aprendidas de estas experiencias pueden informar las políticas de seguridad sísmica en otras partes del mundo.

Uno de los factores críticos en una estructura es el deterioro, ya que este podría conllevar al colapso de la estructura o en el escenario más favorable, a la necesidad de costosas reparaciones. Este aspecto está vinculado con elementos resistentes como vigas, columnas, muros autoportantes, sistemas de piso, y está directamente influenciado por la calidad de los materiales estructurales, así como por la configuración y el sistema estructural.

2.2.1 Sismos en Ecuador

El terremoto de magnitud 6,7 que devastó a Ecuador ha provocado la pérdida de varias vidas, además causó daños muy críticos a infraestructuras como escuelas, centros de salud y edificios. La provincia de El Oro se ha visto especialmente afectada, sufriendo graves daños ciudades como Cuenca, Machala y Guayaquil. (TRT, 2023)

El 2 de octubre de 1933, tuvo lugar un acontecimiento sísmico con una magnitud de 6.9 y su epicentro se ubicó frente a las costas de las localidades de Montañita y Olón. Este evento estuvo acompañado por intensas oscilaciones en el nivel del mar y la formación de grandes olas durante un periodo considerable. (Moncayo et al., 2017)

El 14 de mayo de 1942, un terremoto impactó la región de Manabí y todo Ecuador, registrando una magnitud de 7.8 en la escala Richter y una profundidad de 20 km. El epicentro se ubicó al oeste de la ciudad de Pedernales. Dos años después, en 1944, Esmeraldas experimentó otro sismo significativo, con una magnitud de 6.7 y una profundidad de 20 km.

En contraste, el 5 de agosto de 1949, el evento sismológico reconocido como el "terremoto de Ambato", con una magnitud de 6.8, ocasionó la devastación completa del cantón Pelileo y generó considerables pérdidas en Guano, Patate, Pillaro y Ambato, donde se evidenció un daño significativo (Moncayo et al., 2017). En este contexto, la mayoría de las viviendas estaban construidas principalmente con bahareque, piedra y adobe, y en menor cantidad, con mampostería de piedra y algunos elementos de hormigón. También se encontraban edificaciones de piedra pishilata, utilizada en iglesias

y edificios públicos. No obstante, muchas de estas estructuras colapsaron debido a una ordenanza municipal que buscaba preservar el aspecto estético de las casas, pero carecía de criterios técnicos fundamentales. Además, los responsables de la construcción no cumplían con los lineamientos básicos establecidos (Torres, 2017).

Tomando en cuenta los eventos ocurridos en Pedernales en abril de 2016, se ha recopilado una gran cantidad de información sobre varias edificaciones que colapsaron o mostraron un nivel considerable de deterioro. Se evidenció que varias estructuras fueron instauradas sin diseños ni planos estructurales, además la construcción de edificios sin tener en cuenta las normativas establecidas, la ausencia de supervisión profesional durante el proceso constructivo y una limitada anticipación a los posibles daños estructurales ante la eventualidad de un sismo de gran magnitud (Fernández et al., 2018).

Figura 1

Dron graba cómo quedó puente en Guayaquil tras terremoto de 7,8 en Ecuador



Fuente: RUPTLY (2016)

Ecuador es un país que se encuentra permanentemente expuesto a riesgos sísmicos por estar ubicado en el cinturón de fuego, por ende, existe la posibilidad de que estos eventos resulten en la pérdida de vidas humanas y generar daños materiales y pérdidas totales. Por ende, es imperativo implementar medidas destinadas a reducir los

impactos negativos de tales eventos. Esto incluye la realización de estudios que permitan evaluar el comportamiento probable de las estructuras frente a eventos sísmicos, con el objetivo de planificar y mitigar los significativos efectos asociados. Vale la pena destacar que Ecuador ha experimentado diversos eventos sísmicos, con variados niveles de afectación, muchos de los cuales han sido de considerable intensidad, causando daños significativos y lamentables pérdidas de vidas (Fernández et al., 2018).

Figura 2

Rigurosidad sísmica en Ecuador



Fuente: iRD leMag (2021)

El terremoto del 12 de agosto de 2014 y las réplicas que le siguieron afectaron significativamente la infraestructura de Quito, especialmente en la zona de San Antonio de Pichincha, donde se observaron deslizamientos de tierra en las canteras y en los márgenes de la carretera Calderón-Calderón. Guayllabamba. Otros eventos sísmicos, como el terremoto de abril de 2016, también causaron daños considerables en distintos puntos del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Además, el crecimiento desordenado de la ciudad ha resultado en la construcción de edificaciones deficientes y la urbanización de áreas peligrosas, como laderas inestables y barrancos llenos de tierra suelta, lo que aumenta la vulnerabilidad de estas áreas a futuros terremotos. (Lopez, 2014)

En el sector de Carcelén Bajo, al norte de la ciudad de Quito, se observa una considerable cantidad de construcciones informales, originadas en invasiones ilegales de algunos años atrás. En esta zona, la mayoría de las edificaciones están construidas con hormigón armado y losas planas, presentando un comportamiento sísmico deficiente. Estas estructuras, en su mayoría, carecen de un diseño y proceso constructivo que cumpla con normativas técnicas o códigos de construcción. En conjunto, estas condiciones hacen de Quito una ciudad altamente vulnerable desde la perspectiva sísmica.

La falla Quito-Latacunga desencadenó el reciente terremoto del 12 de agosto y sus más de 80 réplicas, junto con la falla en la región amazónica conocida como Subandina Oriental. Ante esta situación, es crucial implementar planes de preparación para hacer frente a las posibles consecuencias de los movimientos sísmicos. Por ejemplo, en Cuenca se desarrolla un plan de emergencia desde hace más de dos años, aunque no todos los vecinos son conscientes de ello. Este plan incluye la identificación de 18 zonas seguras, tanto en áreas urbanas como rurales, principalmente en parques, donde las personas pueden buscar refugio durante un terremoto. (El Comercio, 2014)

El comportamiento inadecuado de las edificaciones es una causa fundamental de daño en las estructuras afectadas por sismos. Por esta razón, resulta crucial evaluar el nivel de vulnerabilidad de estas edificaciones según su configuración estructural. Esta evaluación es fundamental para investigar y proponer soluciones que mejoren la respuesta estructural de las edificaciones frente a la influencia de sismos de intensidad moderada o alta (Fernández et al., 2018).

Figura 3

Incalculables daños por terremotos en Ecuador



Fuente: Noticias Telemundo (2016)

Los sismos provocan daños materiales significativos que afectan a numerosas personas, ocasionando víctimas mortales y damnificados. Esto indica que, a pesar del avance en los programas de Evaluación de Riesgo Sísmico, aún no se implementan de manera efectiva para prevenir o reducir estas pérdidas. Esta situación es prevalente en la mayoría de los países en desarrollo, debido a la falta de asignación de recursos económicos para la investigación y desarrollo tecnológico, cuyo propósito principal es fomentar estudios de prevención y mitigación del riesgo sísmico. Además, la causa fundamental de las pérdidas humanas y económicas generadas por los sismos reside en el deficiente comportamiento sísmico de las edificaciones, que en varias ocasiones resultan en colapsos parciales o totales.

Figura 4

Las cifras de los daños que generó el terremoto de 6,6 en Ecuador



Fuente: El Universo (2023)

El término "sistema constructivo" se refiere a la forma en que se combinan los materiales para formar los diversos componentes de una edificación. Va más allá de los aspectos estéticos, siendo una fusión de arquitectura e ingeniería que aborda los principales desafíos en la construcción, como la estructura, el proceso constructivo y los materiales. Su objetivo es encontrar métodos que simplifiquen sin comprometer la estética, consiguiendo mejores resultados en la edificación y optimizando materiales y espacios para los usuarios y la finalidad final del edificio. (Aceroform.S.A, 2023)

Con base en los relatos históricos que datan desde la fundación de Guayaquil, se observa que, a lo largo del tiempo, a pesar de que los residentes de la ciudad han experimentado varios eventos sísmicos, no les atribuían una significativa importancia. En cambio, mostraban un temor considerable hacia los incendios, las pestes e incluso los ataques de piratas, ya que estas amenazas fueron responsables de los mayores desastres en ese período.

Las construcciones iniciales se establecieron en terrenos rocosos y depósitos aluviales, utilizando principalmente estructuras de madera de gran resistencia, lo que les confería un nivel de seguridad reconocido.

Debido a estas circunstancias, se sostenía que los terremotos eran característicos de la región de la sierra, aunque esto no implicaba que la ciudad estuviera a salvo frente a los efectos devastadores de un sismo de considerable magnitud. (RADIUS, 1999).

2.2.2 Daños producidos por sismos en Unidades Educativas

Los sismos representan una amenaza significativa para las infraestructuras educativas en todo el mundo. Los efectos de un terremoto en una escuela pueden variar desde daños leves, como fisuras en paredes y techos, hasta el colapso total de edificaciones. Estos eventos no solo comprometen la integridad estructural de los edificios escolares, sino que también ponen en peligro la seguridad de los estudiantes, docentes y personal administrativo que frecuentan estas instalaciones. Los efectos negativos no se limitan únicamente al daño físico, sino que también tienen repercusiones en la continuidad de la educación y el bienestar emocional de la comunidad escolar (Mitchell & Jolly, 2002).

El diseño y reforzamiento sísmico de edificaciones escolares es esencial para mitigar el riesgo de daños catastróficos durante un terremoto. La adopción de técnicas y normativas de construcción antisísmica se ha convertido en un elemento crucial en la planificación y desarrollo de infraestructuras educativas resilientes. El uso de sistemas estructurales adecuados, como marcos resistentes a sismos y sistemas de aislamiento sísmico, puede disipar la energía del terremoto y reducir el impacto en las estructuras. Además, la incorporación de elementos de diseño flexibles y materiales adecuados puede aumentar la capacidad de las edificaciones para resistir cargas sísmicas sin sufrir daños sustanciales (Priestley et al., 2007).

Los sismos pueden interrumpir gravemente la educación, afectando la asistencia escolar y la continuidad del aprendizaje. Los estudiantes pueden sufrir traumas emocionales debido a la pérdida de compañeros, maestros y el entorno familiar de la escuela (FEMA, 2017).

Las instituciones educativas desempeñan un papel crucial en todas las etapas de un fenómeno natural. Por lo tanto, resulta esencial evaluar la vulnerabilidad estructural física de los edificios para comprender cómo actuar y enfrentar eficazmente un evento sísmico (Mora-Gaibor, M., Vallejo-Ilijama, M. T., & Pazmiño-Zabala, C., 2023).

Figura 5

Paredes fisuradas y colapsos de cerramientos



Fuente: El Universo (2023)

Los edificios educativos como el Centro Educativo en Ecuador son de particular importancia debido a su papel en garantizar la seguridad y educar al público. Sin embargo, a menudo tienen defectos estructurales debido a la falta de diseño y construcción sismorresistentes, lo que aumenta el riesgo de daños graves en caso de terremoto (FEMA, 2003). Evaluar y mejorar la resistencia sísmica de estas estructuras es fundamental para la seguridad de los estudiantes y el personal.

Las pérdidas durante los desastres están en constante aumento, con consecuencias graves para la supervivencia y los medios de vida adquiridos con gran esfuerzo. La preocupación por el riesgo de desastres es global, ya que las acciones e impactos en una región pueden generar riesgos en otra y viceversa.

Las instalaciones educativas de Ecuador han sufrido graves daños por falta de mantenimiento, lluvias y un reciente terremoto, con un total varias plantas afectadas. Inicialmente, se informó que 112 instituciones educativas estaban afectadas, pero este número aumentó significativamente rápidamente. La provincia del Azuay ha sido la más afectada, con 115 edificaciones dañadas, seguida de El Oro y Guayas con 53 unidades educativas primarias, mientras que otras provincias también han experimentado diversas afectaciones, aunque en menor medida. (Castillo, 2023)

Los factores fundamentales que influyen en la vulnerabilidad de los individuos en comunidades en situaciones de riesgo y desastres incluyen la fragilidad, que engloba la resistencia, adaptación y protección ante amenazas inminentes, así como la exposición, resiliencia, resarcimiento y aprendizaje. Estas características en conjunto permiten evaluar la vulnerabilidad global de la población, dado que es un proceso dinámico y complejo que determina la probabilidad de que una comunidad esté expuesta a desastres naturales (Umaña et al., 2013).

Por esta razón, resulta crucial considerar que los terremotos causan daños cuando la construcción de edificaciones no cumple con las normativas técnicas vigentes en el país (Cárdenas, 2017).

La vulnerabilidad sísmica se refiere a la característica intrínseca de una estructura que describe cómo responde ante un sismo, estableciendo una relación causa-efecto donde el sismo es la causa y el daño es el efecto. Es crucial ajustar la naturaleza y el alcance de un estudio de vulnerabilidad según el tipo de daño a evaluar y el nivel de amenaza presente. El impacto está estrechamente ligado a la actividad sísmica y a la capacidad de la estructura para resistirla, lo que significa que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica está estrechamente ligada a la definición de la acción y daño causado por el terremoto. (Cunalata & Caiza, 2022)

Figura 6

Declararon urgencia manifiesta en Medellín por crisis en educación



Fuente: infobae (2024)

Cuando ocurre un sismo, las escuelas pueden sufrir daños significativos en su infraestructura, lo que puede interrumpir la educación de los estudiantes. Además de los efectos físicos, los sismos también pueden causar traumas emocionales en los estudiantes y el personal docente. La pérdida de compañeros, maestros y el entorno familiar de la escuela pueden tener un impacto duradero en la comunidad educativa.

El diseño sísmico adecuado implica la incorporación de medidas de seguridad en la construcción de escuelas. Esto incluye el uso de técnicas y materiales que puedan resistir la fuerza de un sismo y minimizar los daños. La planificación urbana también desempeña un papel clave al determinar las zonas seguras para la construcción de escuelas y la implementación de códigos de construcción sísmica.

Figura 7

Escuelas dañadas durante el terremoto de Cariaco



Fuente: Redalyc (2020)

Según Zora, L. y Acevero, E. (2019). Indicaron que la metodología del índice prioritario permite clasificar un grupo específico de edificaciones educativas en función del daño estructural que podrían sufrir ante posibles sismos futuros, abarcando desde daño severo hasta colapso completo. De esta manera, se identifican las estructuras prioritarias que requieren intervención urgente para garantizar un buen rendimiento en futuros eventos sísmicos. La evaluación abarcó un total de 82 estructuras, con una superficie total de 50815 m², destinadas a funciones educativas como aulas, laboratorios y espacios deportivos. De estas, 27 estructuras fueron construidas antes de 1984 sin cumplir especificaciones técnicas sísmicas. Según los resultados, el 61% de las estructuras evaluadas presentan una alta prioridad de sufrir daño severo o colapso después de un sismo de intensidad moderada, mientras que el 30.5% muestra un daño moderado y el 8.5% presenta daño leve. Según el índice prioritario, se concluyó que las estructuras evaluadas podrían colapsar en caso de un evento sísmico. Este estudio destaca que las estructuras pueden experimentar daños según si fueron construidas cumpliendo normativas vigentes o no. Además, subraya la posibilidad de clasificarlas según el grado de daño, desde bajo hasta posible colapso, enfatizando la necesidad de intervenir para prevenir daños, especialmente en entornos que brindan servicios a niños.

Según Peña, O. (2019). Realizó una evaluación de la seguridad sísmica en 100 escuelas en El Salvador, la metodología empleada fue VISUS (Inspección visual para

definir estrategias de actualización de seguridad). Esta metodología se basa en una clasificación sistemática que permite evaluar rápidamente los aspectos críticos de la seguridad a través de cinco temas, recomendando prioridades de intervención de acuerdo con normas y criterios específicos. Además, se divide en tres fases principales: caracterización, evaluación y juicio. Al aplicar la metodología VISUS, se evaluaron 12,100 complejos escolares, 300 edificios y 494 unidades estructurales que incluían a 50,000 estudiantes, 2,000 docentes y 300 empleados administrativos. Tras aplicar los cinco aspectos VISUS, se observó que el 44% de las escuelas analizadas se encuentran en ubicaciones adecuadas. En cuanto a la estructura global, el 70% de las unidades estructurales presentan un comportamiento adecuado. En el ámbito estructural local, el 75% de las unidades de estudio no revelaron problemas significativos. Respecto a lo no estructural, solo el 5% no requiere intervención, y en términos de funcionalidad, solo el 1% de las escuelas no muestra deficiencias relacionadas con la evacuación.

La metodología VISUS, desarrollada por la Universidad de Udine en colaboración con la UNESCO, se está introduciendo en varios países de América Latina y el Caribe que enfrentan vulnerabilidad sísmica, a pesar de su enfoque multirriesgo. La Oficina Regional de Cultura de la UNESCO para América Latina y el Caribe está llevando a cabo la implementación de esta metodología en República Dominicana, específicamente en cinco provincias del interior (San Cristóbal, La Vega, San Pedro de Macorís, Sánchez Ramírez y Bonao)., como parte del proyecto BERLAC5, que busca fortalecer las capacidades para la reducción del riesgo de desastres en la región. (UNESCO, 2023)

2.3 Fallas geológicas

Cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas, se origina una falla geológica, una fisura en la superficie terrestre que puede alcanzar hasta 200 km de profundidad. La falla se manifiesta como un plano, claramente definido en la zona de ruptura, acompañado por el desplazamiento de las rocas en dirección perpendicular a este plano (Ingeoexpert, 2022).

En el ámbito de la geología, se entiende por falla una fractura presente en la corteza terrestre, a lo largo de la cual se produce un desplazamiento relativo entre bloques de roca adyacentes. Este proceso tiene lugar cuando las fuerzas tectónicas

ejercidas sobre las rocas superan su resistencia, generando así una ruptura en la estructura geológica. La orientación del movimiento sobre la falla puede variar y puede ser vertical, horizontal o una combinación de ambas direcciones. Este movimiento puede provocar la elevación de formaciones montañosas durante largos períodos de tiempo, con movimientos que pueden abarcar distancias de metros a kilómetros. (INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA, 2020)

Aunque la actividad de una falla puede generar terremotos importantes, e incluso provocar la ruptura súbita y abrupta de la superficie terrestre, dando origen a una característica topográfica denominada escarpa de falla (Ingeoexpert, 2022).

Las fallas son frecuentes en la Tierra y generalmente se encuentran en los límites de las placas tectónicas, desempeñando un papel clave en la formación de montañas mediante el proceso de orogénesis. Estas fracturas pueden manifestarse en direcciones variadas, ya sea verticalmente, horizontalmente o diagonalmente, según las características geológicas específicas del área.

En zonas con fallas geológicas los movimientos sísmicos suelen ocurrir debido a la presión que ejercen las placas tectónicas sobre los bloques de roca, que al resistir el movimiento sin lubricación acumulan energía. Cuando finalmente uno de los bloques cede, la energía liberada genera las ondas sísmicas que se perciben en la superficie. Este fenómeno se debe a la interacción de placas tectónicas, que al chocar o deslizarse entre sí provocan temblores en la corteza terrestre. (Editorial Etecé, 2023)

En función de si han experimentado desplazamientos y originados movimientos sísmicos en los últimos 10.000 años, las fallas pueden ser categorizadas como activas o inactivas. Aquellas clasificadas como activas pueden, a su vez, ser identificadas como sísmicas (si generan temblores) o asísmicas (si no los generan).

2.3.1 Principales fallas geológicas en el mundo

Algunas de las fallas más destacadas a nivel mundial incluyen:

- **Falla de San Andrés:** Esta falla, con una longitud aproximada de 1300 km, atraviesa los estados de California, Estados Unidos, y Baja California, México. Marca el límite entre las placas tectónicas de Norteamérica y el Pacífico, y es

conocida por sus devastadores terremotos vinculados al Cinturón de Fuego del Pacífico.

Figura 8

Falla de San Andrés



Fuente: Wikipedia (2007)

- **Falla de Ramón:** Una falla activa situada al este de la capital chilena, Santiago, a los pies de la sierra de Ramón. Con una extensión de 25 km y una profundidad de 5 km en dirección norte-sur, esta falla inversa ha contribuido a la formación de la serranía cercana.
- **Falla de Ramón:** Una falla activa situada al este de la capital chilena, Santiago, a los pies de la sierra de Ramón. Con una extensión de 25 km y una profundidad de 5 km en dirección norte-sur, esta falla inversa ha contribuido a la formación de la serranía cercana.

Figura 9

Falla San Ramón



Fuente: Carlos Montes (2021)

- **Falla de Altyn Tagh:** Esta gigantesca falla, con alrededor de 2500 km de longitud, marca el límite entre las placas tectónicas de Eurasia y del subcontinente indio. Localizada a 1.200 km del monte Everest, es la mayor fractura de rumbo activa en el planeta. El último terremoto significativo tuvo lugar en 2008 en Sichuan, China, cobrando más de 60.000 vidas.

Figura 10

Falla de Altyn Tagh

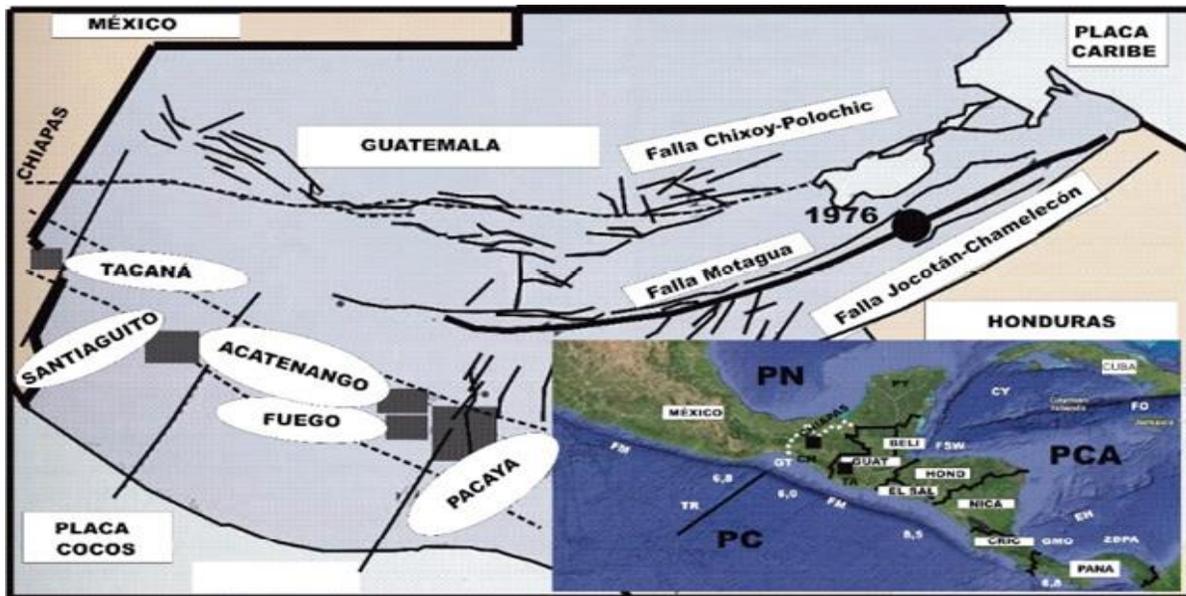


Fuente: Wikipedia (2010)

- **Falla de Motagua:** Ubicada en Guatemala y el sureste de México, sigue la trayectoria del río Motagua a través de Guatemala y Belice. Esta falla demarca la separación entre las placas tectónicas de Norteamérica y del Caribe, desencadenando numerosos fenómenos volcánicos en Centroamérica.

Figura 11

Falla de Motagua



Fuente: Revista Geográfica (2019)

- **Falla Fagnano-Magallanes:** Este sistema de fallas, orientado de este a oeste al sur de la Patagonia Argentina, se encuentra entre las placas tectónicas de Suramérica y de Scotia. Aunque sus sismos habituales no superan los 4 puntos en la escala de Richter, el de mayor magnitud tuvo lugar en 1949, alcanzando los 7.8 puntos de la escala.

Figura 12

Falla Fagnano-Magallanes



Fuente: EcuRed (2018)

2.3.2 Causas de las fallas geológicas

Las tensiones inducen las fallas geológicas, las cuales se clasifican según su naturaleza.

Los tres tipos primordiales de tensiones son los siguientes:

- **Fuerza de compresión**

Este tipo de tensión se origina a lo largo de los límites de las placas convergentes. En esta situación, las dos placas empiezan a desplazarse y finalmente colisionan entre sí, similar a la colisión de dos automóviles.

- **Fuerza de tensión**

Esta tensión se manifiesta en los límites de las placas divergentes, donde las placas se alejan una de la otra.

- **Tensión de cizallamiento**

Este tipo de fuerza se observa con mayor frecuencia en los límites de las transformaciones. En direcciones opuestas, las placas se deslizan horizontalmente entre sí.

2.3.3 Tipos de fallas geológicas

Las fallas suelen ser clasificadas geométricamente según el desplazamiento relativo de los bloques de piedra involucrados a lo largo de un plano de falla, que puede ser vertical, horizontal o inclinado. De esta manera, se dividen en varias categorías:

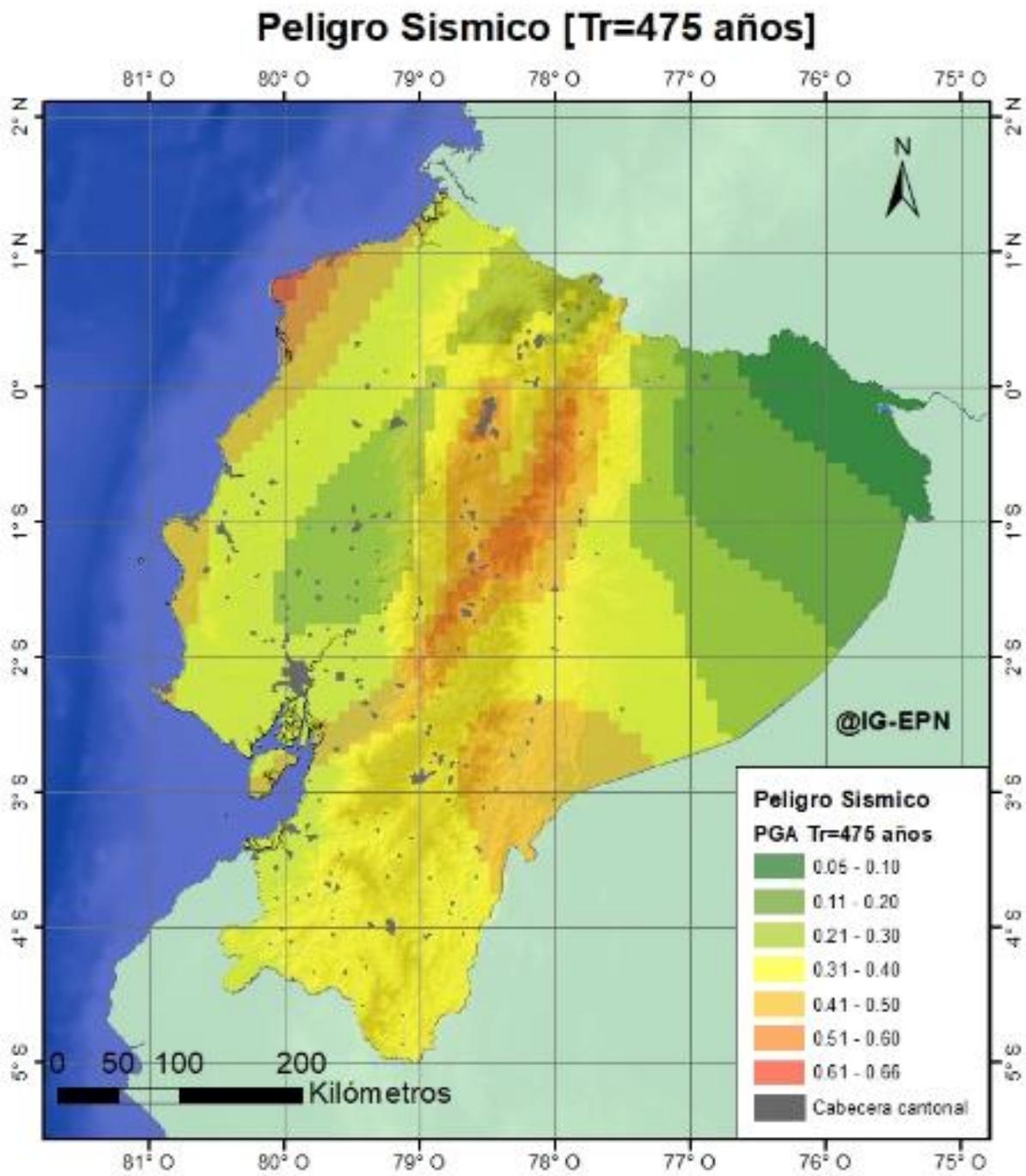
- 1.- **Fallas normales o directas:** Actúan bajo la influencia de la gravedad, donde uno de los bloques de piedra se desliza hacia abajo del otro a lo largo de un plano de falla inclinado.
- 2.- **Fallas inversas:** En estas, ocurre lo opuesto a las fallas normales; es decir, uno de los bloques de piedra se eleva sobre el otro a lo largo de un plano de falla inclinado, y el bloque que se eleva se conoce como cabalgamiento.
- 3.- **Fallas transcurrentes, de rumbo o de desgarre:** El desplazamiento ocurre horizontalmente, paralelo al rumbo de la falla. Según el sentido del movimiento, pueden ser siniestras (hacia la izquierda) o detrás (hacia la derecha).
- 4.- **Fallas oblicuas o mixtas:** Combinan dos de los casos anteriores, lo que significa que el bloque se desplaza en direcciones como abajo y a la derecha, abajo y a la izquierda, arriba a la derecha o arriba a la izquierda.
- 5.- **Fallas rotacionales:** En estas, uno de los bloques rota sobre su eje en lugar de desplazarse. Esto puede ocurrir de tres maneras: en tijera (cuando el eje de rotación es perpendicular al plano de falla), en cilindro (cuando el eje es paralelo al plano de falla) o en cono (cuando el eje es oblicuo al plano de falla, y el plano de falla suele ser curvilíneo en estos dos últimos casos).

2.4 PELIGRO SÍSMICO

El término "peligro sísmico" se refiere a la posibilidad de que se excedan ciertos umbrales de intensidad sísmica en una región particular durante un intervalo de tiempo determinado, lo que requiere una comprensión tanto de la frecuencia como de la gravedad de los eventos potenciales. Dado el alto grado de incertidumbre en la predicción de estos eventos y la falta de un catálogo completo, se realizó un análisis probabilístico con el fin de evaluar la amenaza sísmica. (Quinde & Reinoso, 2016)

Figura 13

Mapa de peligro sísmico



Fuente: IGEPN (2023)

2.5 REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

Los refuerzos estructurales engloban actividades encaminadas a reforzar, ajustar o renovar la estructura de una edificación preexistente con el fin de aumentar su capacidad resistente y rígida. Estas actuaciones se vuelven imprescindibles ante situaciones de deterioro estructural, fallas en el diseño o ejecución, alteraciones que hayan impactado la forma del edificio y la degradación paulatina de los materiales en el tiempo, garantizando así la seguridad y solidez del inmueble. (Vestaliablog, 2022)

Los métodos utilizados para el reforzamiento estructural pueden variar y comprenden la adición de refuerzos de acero, la utilización de materiales compuestos, la aplicación de mortero estructural, entre otros. El objetivo primordial consiste en asegurar que la estructura cumpla con los estándares necesarios de seguridad y rendimiento, prolongando de esta manera su durabilidad y previniendo posibles fallos o colapsos. Este proceso resulta fundamental para el mantenimiento y mejora de la infraestructura existente, reduciendo los riesgos asociados con la obsolescencia estructural.

2.5.1 Tipos de Reforzamiento estructural

2.5.1.1 fibras de carbono

La técnica de reforzamiento estructural con fibra de carbono consiste en aplicar láminas o tejidos compuestos de fibra de carbono en estructuras existentes para mejorar su resistencia y capacidad de carga. La fibra de carbono, conocida por su resistencia y ligereza, se ha vuelto popular en la ingeniería civil debido a sus propiedades mecánicas excepcionales.

El procedimiento general de reforzamiento con fibra de carbono incluye los siguientes pasos:

Preparación de la superficie: La estructura a reforzar se prepara adecuadamente, mediante la limpieza, eliminación de corrosión y aseguramiento de una superficie lisa.

Aplicación de adhesivo: Se aplica un adhesivo epoxi resistente en la superficie, actuando como agente de unión entre la fibra de carbono y la estructura.

Colocación de la fibra de carbono: Las láminas o tejidos se colocan sobre la superficie tratada, siguiendo patrones específicos para mejorar la resistencia y eficacia del refuerzo.

Impregnación: La fibra de carbono se impregna con adhesivo epoxi, garantizando una conexión sólida entre la fibra y la estructura.

Curado: El sistema se deja curar, permitiendo que el adhesivo se endurezca y establezca una conexión estructural fuerte.

Figura 14

Refuerzos de fibra de carbono.



Fuente: Estructurando (2012)

Este método es particularmente eficaz para mejorar la resistencia a la tracción y flexión de elementos como vigas y columnas. Se utiliza en diversas aplicaciones, como la rehabilitación de puentes, el refuerzo de edificios históricos y la fortificación de estructuras afectadas por eventos sísmicos.

Sus ventajas incluyen peso ligero, alta resistencia específica, resistencia a la corrosión y aplicabilidad no intrusiva, evitando modificaciones estructurales importantes. Sin embargo, la efectividad del reforzamiento con fibra de carbono depende de una ejecución

precisa del proceso y una evaluación detallada de las necesidades estructurales específicas.

2.5.1.2 Refuerzo estructural con adición de barras de refuerzo

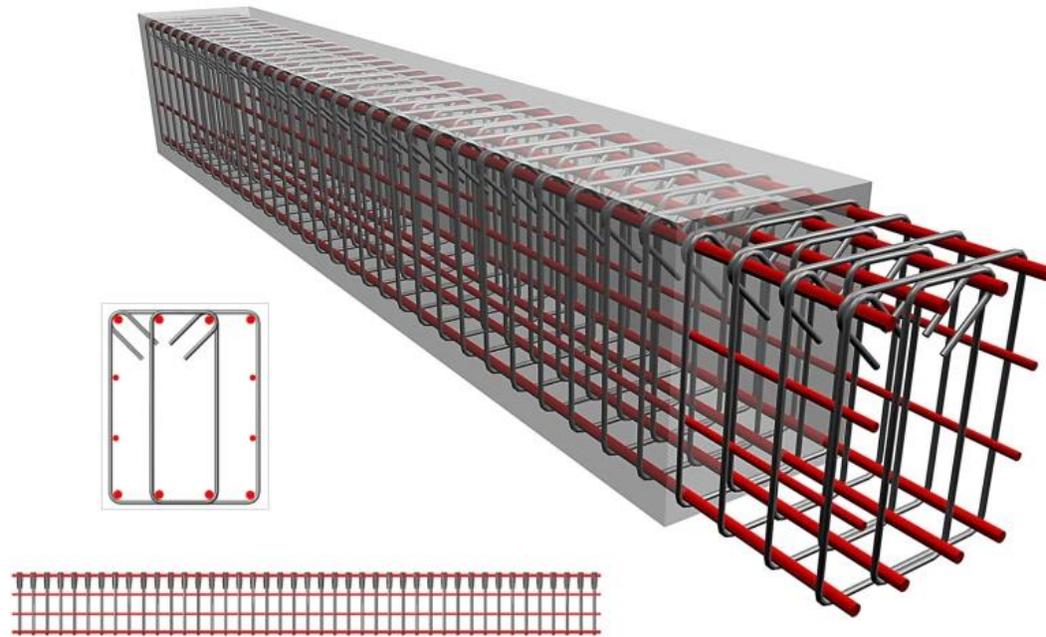
El fortalecimiento estructural mediante la adición de barras implica el refuerzo de una estructura existente al incorporar barras, generalmente de acero, con el objetivo de mejorar su capacidad de carga y resistencia. Este método es ampliamente utilizado en la ingeniería civil para incrementar la capacidad estructural de elementos como vigas, columnas o losas.

El procedimiento involucra las siguientes etapas:

1. La estructura se evalúa exhaustivamente, identificando las áreas que requieren fortalecimiento y comprendiendo las condiciones específicas de la misma.
2. La superficie de la estructura se prepara de manera adecuada, abarcando procesos como limpieza, eliminación de corrosión y aseguramiento de una superficie libre de impurezas.
3. Se elabora un diseño detallado que especifica la ubicación, cantidad y tipo de barras de refuerzo a agregar, así como la técnica de instalación.
4. Las barras de refuerzo se colocan y fijan según el diseño establecido, garantizando una conexión sólida con la estructura existente.
5. Se establece la conexión y se consolida la unión de las barras de refuerzo a la estructura mediante adhesivos o sistemas de anclaje, asegurando su eficacia.

Figura 15

Combinaciones de acero de refuerzo



Fuente: Saavedra, C (2016)

Este enfoque resulta efectivo para aumentar la capacidad de carga y la resistencia a la tracción de la estructura, permitiéndole soportar cargas adicionales o cumplir con nuevos requisitos de diseño. Se utiliza comúnmente en la rehabilitación de edificios antiguos, puentes y otras estructuras afectadas por daños o que necesitan adaptarse a cambios en las condiciones de carga.

Es fundamental contar con la supervisión de ingenieros estructurales a lo largo de todo el proceso para asegurar que el fortalecimiento se lleve a cabo de manera segura y eficiente, cumpliendo con los estándares y códigos de construcción correspondientes.

2.5.1.3 Colocación de muros de corte

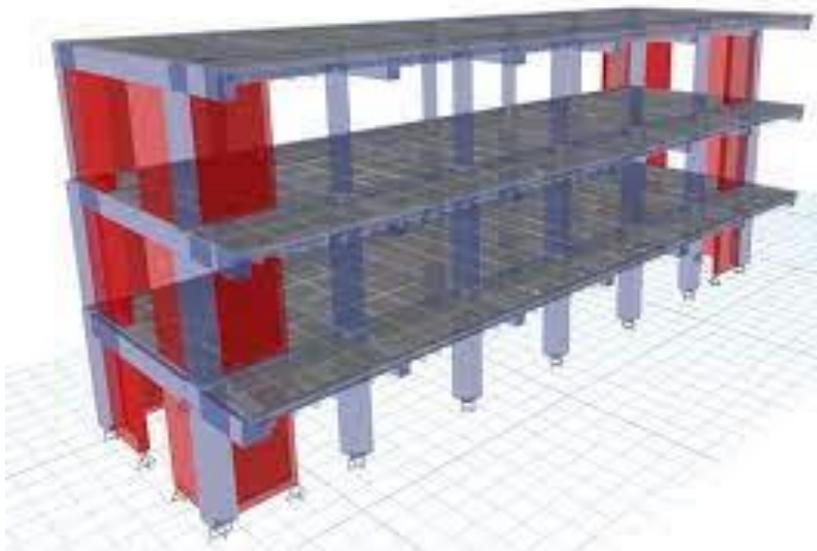
La función principal de un muro de corte es proporcionar rigidez lateral a las estructuras, especialmente en edificios altos, con el fin de prevenir o reducir los desplazamientos laterales durante un sismo. El diseño de dicho miembro incluye la capacidad de resistir diversas fuerzas, como cortes, momentos y fuerzas axiales

resultantes de cargas laterales. (Espinoza, Zúñiga, Huancachoque, Pineda, & Flores, 2021)

Antes de colocar los muros de corte, se lleva a cabo la preparación del área, garantizando una entrada apropiada y eliminando cualquier obstrucción presente. En ciertas circunstancias, podría ser indispensable reforzar los cimientos existentes para sustentar los muros adicionales. Una vez completada la preparación del terreno, se procede con la instalación de los muros, los cuales están compuestos de concreto armado o acero y se sitúan estratégicamente dentro de la estructura para contrarrestar las fuerzas laterales generadas por movimientos sísmicos.

Figura 16

Vista en 3D del modelo estructural con muros de corte



Fuente: Sanclemente, Y (2022)

Los muros de corte se aseguran de manera sólida a la estructura preexistente a través de anclajes o conexiones estructurales para asegurar su eficacia. Además, es posible introducir mejoras adicionales en otros componentes estructurales como vigas, columnas o losas, según las necesidades específicas del edificio. Por último, se llevan a cabo pruebas de calidad y se obtiene la certificación correspondiente, garantizando que la edificación cumpla con los estándares de seguridad y resistencia necesarios para hacer frente a eventos sísmicos y salvaguardar tanto la vida humana como la propiedad.

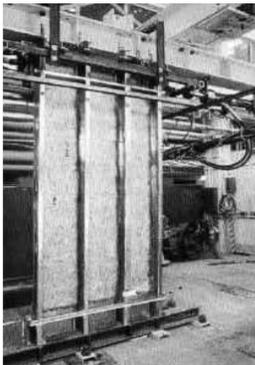
2.5.1.4 Diafragmas rigidizadores

Los diafragmas de rigidez son elementos esenciales en el fortalecimiento estructural de construcciones, concebidos para conferir estabilidad y solidez ante fuerzas laterales como las generadas por el viento o sismos. Su instalación comienza con un minucioso análisis de la estructura existente, dirigido a detectar áreas críticas que requieran reforzamiento y determinar la ubicación óptima de los diafragmas. Este análisis sienta las bases para el diseño del refuerzo, el cual detalla la cantidad, dimensiones y tipo de diafragmas necesarios, garantizando el apego a las regulaciones de ingeniería y códigos de construcción vigentes.

Un diafragma es una estructura que tiene la función de amarrar las paredes de la construcción de tal manera que formen un todo. Así, por ejemplo, se pueden considerar diafragmas un entrepiso o un tejado. Respecto a los diafragmas rígidos, estos son aquellos que sólo se mueven en dos direcciones y pueden ser tanto horizontales como verticales. Un diafragma se considera rígido cuando su longitud máxima no supera cuatro veces su ancho. (Construyendo seguro, 2023)

Figura 17

Diafragma de Rigidización



Fuente: berlana, J (2021)

Una vez colocados, los diafragmas de rigidez son sometidos a pruebas de calidad con el fin de comprobar su efectividad y asegurar la integridad estructural. Estas pruebas son cruciales para verificar que la estructura reforzada cumpla con los estándares de seguridad y resistencia necesarios para hacer frente a eventos sísmicos y proteger tanto la vida humana como la propiedad. En síntesis, la instalación de diafragmas de rigidez

como parte del proceso de refuerzo estructural implica una serie de pasos meticulosos, que incluyen evaluación, diseño, preparación del sitio, instalación y pruebas de calidad, todos ellos orientados a fortalecer la estabilidad y resistencia de las edificaciones ante fuerzas laterales importantes.

2.5.2 Sistemas de disipación de energía

Un sistema de disipación de energía en estructuras se refiere a un conjunto de dispositivos o mecanismos específicamente diseñados para absorber y dispersar la energía resultante de fuerzas dinámicas, como los movimientos sísmicos o las ráfagas de viento, con el propósito de salvaguardar la estabilidad y solidez de la estructura. Estos sistemas son esenciales para atenuar las vibraciones y contrarrestar los daños potencialmente destructivos causados por fenómenos naturales en las construcciones. Dentro de estos sistemas de disipación de energía se pueden encontrar diversos dispositivos, como amortiguadores de masa sintonizados, amortiguadores de viscosidad, disipadores de energía de acero, entre otros, los cuales son integrados en el diseño estructural para incrementar la capacidad de resistencia y protección ante las cargas dinámicas. La efectividad de estos sistemas reside en su capacidad para absorber y dispersar la energía generada por las fuerzas dinámicas, lo cual resulta en la protección tanto de la estructura como de sus ocupantes.

2.5.2.1 Disipadores de viscosidad

Los disipadores de viscosidad son elementos clave en la defensa de estructuras contra fuerzas dinámicas como los movimientos sísmicos o de viento. Su función principal consiste en absorber y dispersar la energía cinética generada por estas fuerzas, lo que conlleva a una reducción en la magnitud de las vibraciones en la estructura y, por ende, a su protección contra daños potenciales. Además de fortalecer la resistencia sísmica de los edificios, estos dispositivos ayudan a mitigar las vibraciones, mejorando así el confort y la seguridad de quienes ocupan la estructura.

Es una tecnología desarrollada originalmente para la industria aeroespacial, el principio básico de funcionamiento consiste en movilizar un elemento a través de un material viscoelástico. Esto genera fuerzas que se oponen al movimiento del elemento, de magnitud proporcional a la velocidad. (Burgos, 2023)

Figura 18

Disipador de fluido viscoso



Fuente: Villarreal, G (2020)

Para instalar los disipadores de viscosidad, se establece una conexión con elementos estructurales esenciales, como vigas o columnas, con el propósito de permitir una disipación efectiva de la energía provocada por las fuerzas dinámicas. Este procedimiento demanda un cuidadoso diseño estructural y un minucioso análisis para asegurar la eficacia y la seguridad del sistema de disipación de energía en su totalidad. Los disipadores de viscosidad cumplen un rol fundamental en la protección de estructuras contra fuerzas dinámicas al mejorar su resistencia sísmica, reducir vibraciones y promover la seguridad de los ocupantes. La integración estratégica de estos dispositivos con otros sistemas de disipación de energía y su ubicación precisa son aspectos esenciales para optimizar su rendimiento en la fortificación de edificaciones ante eventos sísmicos y de viento.

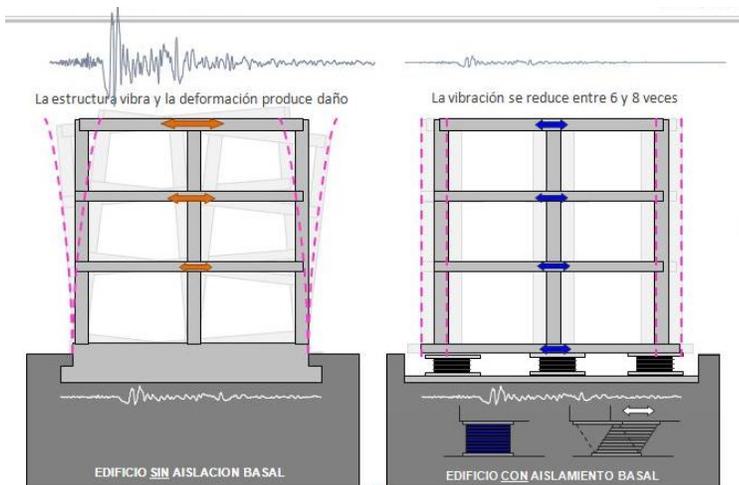
2.5.2.2 aislamiento sísmico

El aislamiento sísmico es un sistema que protege la estructura y todos los componentes dentro de la estructura de los efectos destructivos de los terremotos creando una capa entre la estructura y el suelo, gracias a dispositivos especiales colocados entre la propia estructura y sus cimientos, se colocan aisladores sísmicos (también llamados dispositivos de aislamiento sísmico, aisladores sísmicos o dispositivos de aislamiento de piso) en las estructuras, uno para cada columna y más de uno debajo de los muros cortina, y la superestructura se separa de los cimientos y el suelo. (Teknolojik İzolatör Sistemleri, 2024)

La principal ventaja de los sistemas de aislamiento sísmico radica en su capacidad para disminuir considerablemente el riesgo de daños estructurales y colapsos durante un terremoto. Al separar la superestructura del suelo, estos sistemas dispersan la energía sísmica y minimizan las vibraciones que se transmiten a la estructura, garantizando de esta manera la integridad del edificio y la seguridad de sus ocupantes. Además, al disminuir la rigidez de la estructura, los sistemas de aislamiento sísmico pueden posibilitar un diseño más versátil y ligero de la construcción.

Figura 19

Aislamiento sísmico



Fuente: Silverio, M (2016)

La instalación de sistemas de aislamiento sísmico requiere una evaluación minuciosa de las características del terreno, la configuración de la estructura y las fuerzas sísmicas previstas. Los dispositivos de aislamiento se colocan estratégicamente entre la base de la estructura y el suelo, con el propósito de asegurar una capacidad adecuada para disipar energía y una respuesta controlada ante eventos sísmicos. Es esencial que la instalación sea realizada por profesionales expertos y que se sigan las regulaciones y estándares de seguridad establecidos para garantizar la efectividad y confiabilidad del sistema de aislamiento sísmico.

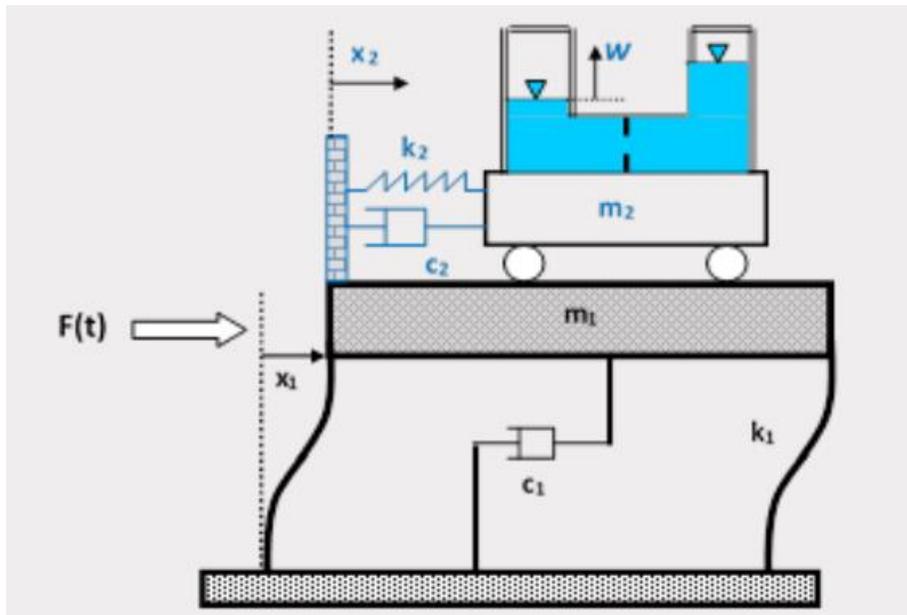
2.5.2.3 Masa sintonizada

La masa sintonizada es una técnica novedosa de disipación de energía utilizada en la ingeniería estructural para contrarrestar los impactos de las fuerzas dinámicas, como los terremotos. Este método implica la incorporación de una masa extra unida a la estructura principal a través de resortes y amortiguadores, cuya frecuencia natural de vibración se adapta para coincidir con la frecuencia principal de las vibraciones esperadas durante eventos sísmicos u otras cargas dinámicas.

Los amortiguadores de masa sintonizados o TMD son dispositivos que se aplican a estructuras especialmente flexibles, como edificios altos o pasarelas, para atenuar las vibraciones debidas a terremotos, vientos u otras acciones dinámicas. (SOMMA, 2020)

Figura 20

Esquema general de un amortiguador de masa



Fuente: Martínez, G (2022)

La aplicación de la masa sintonizada es adaptable y adecuada para una amplia variedad de estructuras, que van desde edificios de altura considerable hasta puentes e instalaciones industriales. Su diseño y ubicación pueden ser planificados estratégicamente para resguardar diferentes tipos de construcciones, lo que conlleva a una mayor seguridad y a la reducción de riesgos relacionados con eventos sísmicos y otras cargas dinámicas. En síntesis, la masa sintonizada representa un sistema de disipación de energía innovador y eficaz que ofrece beneficios sustanciales en términos de protección estructural y durabilidad.

2.6 MARCO LEGAL

En el contexto legal establecido por la Constitución de la República del Ecuador, así como en conformidad con los lineamientos de la NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción), la norma ACI 318-14 (American Concrete Institute) y la norma ASE 7-16 (American Society Of Civil Engineers), se hace imperativo el cumplimiento de estas normativas para la construcción y remodelación de edificaciones. A continuación, se proporciona un desglose detallado de las normas que deben ser observadas y aplicadas en este proyecto.

- **NORMAS NEC-2015:**
 - NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sísmico resistente
 - NEC-SE-RE: Peligro Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras
 - NEC-SE-HM: Estructuras de Hormigón Armado
- **NORMAS ACI 318-14**
- **NORMAS ASE 7-16**

2.6.1 NORMAS NEC-2015

Dentro del contexto legal establecido por las Normas Ecuatorianas de Construcción (NEC), considerando que Ecuador es catalogado como un país con alto riesgo sísmico, es fundamental disponer de las normativas actuales para fortalecer los protocolos de supervisión en los procedimientos de construcción. Las normativas específicas aplicadas son las relacionadas con el Peligro Sísmico Resistente (NEC-SE-DS).

2.6.1.1 Filosofía de diseño sismo resistente

Principios

A. Generalidades

La filosofía de diseño posibilita verificar el nivel de seguridad de las vidas humanas. El diseño estructural se lleva a cabo considerando el sismo de diseño, un evento con una probabilidad del 10% de superarse en un lapso de 40 años, lo que equivale a un período de retorno de 475 años.

B. Caracterización

El sismo de diseño se establece mediante la evaluación de la amenaza sísmica en la ubicación específica donde se construirá la estructura, ya sea mediante un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio o a través de un mapa que indica los riesgos sísmicos de la región.

C. Requisitos mínimos de diseño

El propósito del diseño de estructuras destinadas a ocupación normal es evitar daños en elementos tanto no estructurales como estructurales frente a terremotos pequeños y frecuentes que puedan ocurrir durante el tiempo de vida útil del edificio. También se busca prevenir daños estructurales graves y controlar los daños no estructurales ante terremotos moderados y poco comunes a lo largo de la vida útil de la construcción. Además, se procura evitar el colapso en caso de terremotos severos, los cuales pueden ser poco frecuentes durante la vida útil del edificio, con el objetivo principal de salvaguardar la vida de sus ocupantes.

Para alcanzar este enfoque de diseño, se planifica la estructura de manera que tenga la capacidad de resistir las fuerzas establecidas por la normativa vigente. Además, se verifica que las desviaciones del piso, bajo estas cargas mencionadas, estén por debajo de los límites permitidos. Asimismo, se asegura que la estructura pueda absorber la energía resultante de la deformación inelástica, ya sea a través de técnicas de diseño por capacidad o mediante la implementación de dispositivos de control sísmico.

2.6.2 NORMAS ACI 318-14

Tipos de acero para hormigón armado

I. Fibras dispersas

El término "fibras estructurales" se refiere a la incorporación de fibras al hormigón, lo cual contribuye de manera efectiva a mejorar la capacidad de carga a flexión, corte e impacto de un elemento de hormigón. Además, esta adición ayuda a controlar las fisuras causadas por la retracción y aumenta la durabilidad del hormigón. Las fibras de acero que se emplean como refuerzo estructural en el hormigón constituyen un tipo especial

de refuerzo, ya que se distribuyen de forma dispersa, tridimensional y aleatoria dentro de la masa de hormigón.

II. Requisitos básicos

- **Material:** Deben consistir en acero trefilado en frío con bajo contenido de carbono, apropiado para su uso en hormigones normales.
- **Acabado:** Pueden presentarse en acero negro pulido o galvanizado.
- **Resistencia nominal a la tracción:** Varía entre 1160 N/mm² y 1345 N/mm², con tolerancias promedio de +- 7.5%.
- **Longitudes:** Se encuentran disponibles en longitudes que van desde 30 mm hasta 60 mm.
- **Diámetros:** Los diámetros disponibles oscilan entre 0.55 mm y 1.05 mm.

2.6.3 NORMAS ASCE 7-16

De acuerdo con lo establecido por la legislación en los Estados Unidos, específicamente en el código ASCE 7-16 desarrollado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, este documento proporciona las pautas que deben seguirse para determinar las cargas mínimas que deben tenerse en cuenta al diseñar edificios y otras estructuras.

2.6.3.1 Criterios de diseño sísmico

GENERALIDADES

Los lineamientos para el diseño y la construcción de edificaciones y otras estructuras que están sujetas a movimientos sísmicos y terremotos se basan en la disipación de energía postelástica en la estructura. Debido a este aspecto, es necesario cumplir con requisitos específicos en cuanto al diseño, detalles y construcción, incluso para aquellas estructuras y componentes para los cuales las combinaciones de carga que no contemplan cargas sísmicas imponen demandas mayores que aquellas que sí las incluyen.

Alcance

Cada elemento de la estructura, así como sus componentes no estructurales, deben ser planificados y edificados de manera que puedan soportar los impactos de los

movimientos sísmicos, tal como se establece en los lineamientos sísmicos especificados en esta normativa.

- Casas unifamiliares y bifamiliares aisladas ubicadas en áreas donde la aceleración del espectro de respuesta mapeado, para períodos cortos y el parámetro de acción SS, es inferior a 0.4, o donde la Categoría Sísmica de Diseño determinada según la Sección 11.6 sea A, B o C.
- Residencias unifamiliares y bifamiliares con estructura de madera, excluyendo aquellas que se encuentren dentro de la Exención 1 y que tengan como máximo dos pisos sobre el nivel del suelo, cumpliendo con las limitaciones y estructuradas de acuerdo con el Código de Construcción Residencial (IRC).
- Edificaciones de almacenamiento agrícola destinadas únicamente para una ocupación humana incidental.
- Estructuras que requieran un análisis especial de sus características de respuesta y para las cuales existan criterios sísmicos proporcionados por otras regulaciones, tales como puentes para vehículos, torres de transmisión de energía, estructuras hidráulicas, servicios subterráneos, líneas de servicios públicos y sus accesorios, así como reactores nucleares.
- Muelles y atracaderos no accesibles al público en general.

3 CAPÍTULO III

3.1 Enfoque de la investigación

En este estudio, se aplicará un enfoque mixto que integra aspectos del diseño cualitativo, también conocido como naturalista, el cual se centra en la observación de contextos naturales y la recopilación de datos sin necesidad de mediciones numéricas, pero para el enfoque cuantitativo debido a la necesidad de obtener datos numéricos ya que se emplea en el análisis de daños existentes y en la evaluación de fuerzas laterales, desplazamientos y derivas a través de software de elementos finitos, como ETABS. Este análisis proporcionará datos numéricos cruciales para la elaboración de la propuesta de reforzamiento a recomendar, en este trabajo de investigación.

3.2 Alcance de la investigación

La investigación propuesta adoptará un enfoque exploratorio para abordar la problemática de daños estructurales y propuesta de reforzamiento en la Unidad Educativa "División de Infantería" en Guayaquil. Este enfoque se ha seleccionado, debido a la complejidad y la falta de información detallada sobre la magnitud de los daños y la viabilidad de las soluciones de reforzamiento en esta estructura específica.

Para llevar a cabo este estudio, se realizará un análisis comparativo entre la estructura inicial y una estructura con reforzamiento estructural. Esto permitirá una evaluación exhaustiva de los efectos del reforzamiento en términos de resistencia y estabilidad, así como también en la mitigación de posibles riesgos estructurales.

Este enfoque asegurará una comprensión más profunda de la problemática estructural, ya que, mediante la obtención de datos en el sitio, se desarrollarán modelos estructurales que captarán las propiedades mecánicas y geométricas de la estructura para generar modelos matemáticos lo más cercanos posibles a la realidad.

A través de este análisis comparativo, se podrá determinar con mayor precisión la eficacia del reforzamiento estructural en la Unidad Educativa "División de Infantería", lo que permitirá tomar decisiones informadas sobre las estrategias de intervención más adecuadas para garantizar la seguridad y la integridad de la estructura en cuestión.

3.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.3.1 Instrumentos

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos:

- Flexómetro
- Cinta métrica
- Tablero de dibujos
- Cámara fotográfica

3.3.2 TÉCNICA DE OBSERVACIÓN

La aplicación de la técnica de observación desempeña un rol central en la investigación, especialmente considerando la presencia directa en el lugar para llevar a cabo, mediciones y evaluaciones visuales tanto de elementos estructurales como de patologías del hormigón y acero de refuerzo en la Unidad Educativa.

Figura 21

Frente de la Unidad Educativa División de Infantería



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Durante el trabajo de campo en la Unidad Educativa "División de Infantería", se observó una variedad de fisuras y grietas en diferentes sectores de la estructura. Se ha observado que las fisuras de mayor magnitud se concentraban especialmente en las paredes de mampostería, evidenciando que las deformaciones elásticas de la mampostería han sido superadas. En las figuras mostradas a continuación, se presenta evidencia de la recolección de datos en campo, mediante técnicas de observación.

Figura 22

Medición de longitud en las fisuras



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Utilizando la técnica de la observación se pudo evidenciar el resultado de los diferentes movimientos sísmicos, los cuales han provocado varias fisuras en el muro.

Figura 23

Fisuras en el muro frontal de la Unidad Educativa



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 24

Fisuras en el muro frontal de la Unidad Educativa



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

En la siguiente imagen se observa que en uno de las columnas que se encuentran en el interior de la Unidad Educativa, ha colapsado por causa de los movimientos sísmicos.

Figura 25

Fisuras en columnas



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 26

Fisuras en muros laterales



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Luego de evidenciar la deformación de las columnas procedió a realizar la medición de la longitud del agujero formado por la caída del material luego de los sismos.

Figura 27

Medición de fisura



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 28

Deformaciones en columna



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

En estas imágenes se contempla una de las deformaciones que ha sufrido el muro a causa de los diferentes movimientos telúricos, seguidamente se procedió a realizar la medición de dicho desperfecto.

Figura 29

Medición de fisura



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 30

Fisuras en el marco de la puerta



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

En el interior de las aulas se encontraron varios daños como fisuras y pérdida de material en el marco de las puertas y ventanas.

Figura 31

Fisuras en el marco de la ventana



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 32

Daños en la ventana de un aula



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

En las siguientes ilustraciones se puede notar que las ventanas de una de las aulas han sido fuertemente afectadas por los sismos, provocando la caída y deformación de partes de la misma.

Figura 33

Daños en la ventana de un aula



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

3.4 Población y muestra

La población de la parroquia Febres Cordero consta con un aproximado de 600 000 habitantes, de acuerdo con el censo del 2009 realizado por el INEC. Para este caso de estudio la muestra considerada serán los 9 docentes y 280 estudiantes de la Unidad Educativa División de Infantería, ubicada en Sur Oeste de Guayaquil, dado que dicha institución posee una estructura deteriorada que los afecta directamente.

3.5 Localización

Tabla 1

Coordenadas de la Unidad Educativa

SUR	OESTE
2°12'46.2"	79°56'20.3"

Fuente: Google Earth (2017)

Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 34

Ubicación de la Unidad Educativa



Fuente: Google Earth (2017)

Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

CAPITULO IV

4 PROPUESTA

El reforzamiento estructural de una edificación es necesario, cuando esta presenta patologías de falla tales como; fisuras por cortante, flexión o torsión en sus elementos no estructurales y su gravedad aumenta cuando estas patologías se presentan en sus elementos estructurales. El bloque de aulas de la Unidad Educativa – División de Infantería, se encuentra ubicado al Sur Oeste de Guayaquil y sus suelos se caracterizan típicamente por poseer suelos suaves y por ser una zona altamente sísmica, lo cual incrementa la incertidumbre e induce a garantizar la seguridad estructural, así también al ser una unidad educativa, se convierte en una estructura de tipo especial, por lo cual su comportamiento debe alinearse a los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Nec-15) y seguir buenas prácticas constructivas al momento de su ejecución.

Mediante un análisis inicial se procedió a captar todas las propiedades geométricas y mecánicas de la estructura de la Unidad Educativa – División de Infantería, con la finalidad de generar un modelo que simule su comportamiento, lo más cercano a la realidad. Estos resultados fueron evaluados utilizando el programa de elementos finitos Etabs v16.

4.1 Presentación y análisis de resultados

El edificio consta de un bloque de dos plantas, su ocupación es de tipo aulas escolares. La estructura está conformada por elementos de hormigón armado, como lo son columnas, vigas y losas nervadas en un sentido sin cajoneta.

Tabla 2

Secciones de elementos estructurales

Elemento	Columna	Viga Principal	Viga Secundaria	Losa Nervada
Planta Alta	25x30	20x30	20x30	h=20cm
Planta Baja	30x35	25x40	20x30	h=20cm

Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.1 Parámetros de análisis

4.1.1.1 Materiales

Para el análisis estructural se utilizaron los siguientes materiales que fueron definidos tomando en consideración la inspección realizada a sitio.

Tabla 3

Peso específico de los materiales

Material	Peso Específico
Hormigón	2.40 Ton/m ³
Acero de Refuerzo	7.85 Ton/m ³
Acero Estructural	7.85 Ton/m ³

Fuente: Nec-11 (2011)

Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.1.2 Cargas consideradas

Las cargas consideradas en el análisis son las siguientes:

Cargas Muertas:

Se considera como cargas muertas las que actúan permanentemente, tales como el peso propio de la estructura; losas, vigas y columnas.

Pesos unitarios:

- Hormigón armado..... 2400 Kg/m³
- Bloque hueco de hormigón 1200 Kg/m³
- Mortero de cemento..... 2000 Kg/m³
- Acero..... 7850 Kg/m³

Cargas Vivas:

Son aquellas que pueden variar en magnitud y en posición. En este grupo se considera el peso de personas o cargas especiales de acuerdo con su tipo de ocupación.

- Aulas 200kg/m²
- Cubierta no accesible 70kg/m²

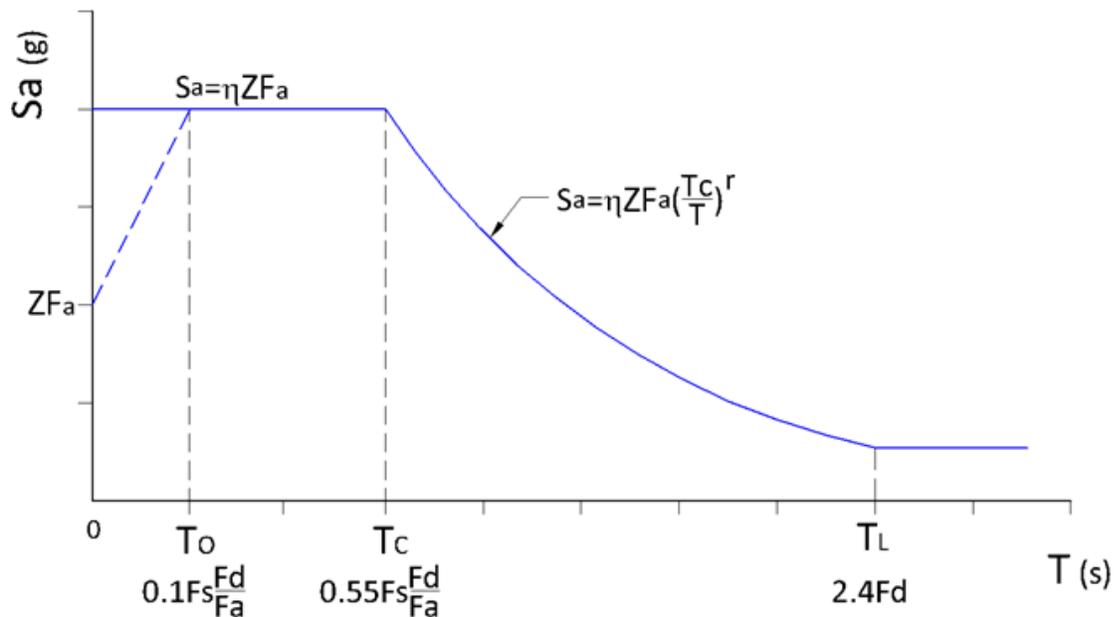
Cargas accidentales - Carga Sísmica

Para analizar el comportamiento de la estructura sometida a sollicitaciones sísmicas, se realizó un análisis dinámico mediante la aplicación del espectro de diseño (Espectro Inelástico) de la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC, desarrollado en el Capítulo NEC-SE-DS.

Espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento igual al 5% del crítico.

Figura 35

Espectro de diseño elástico



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad S_a , para el nivel del sismo de diseño, fue aplicado, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

Figura 36

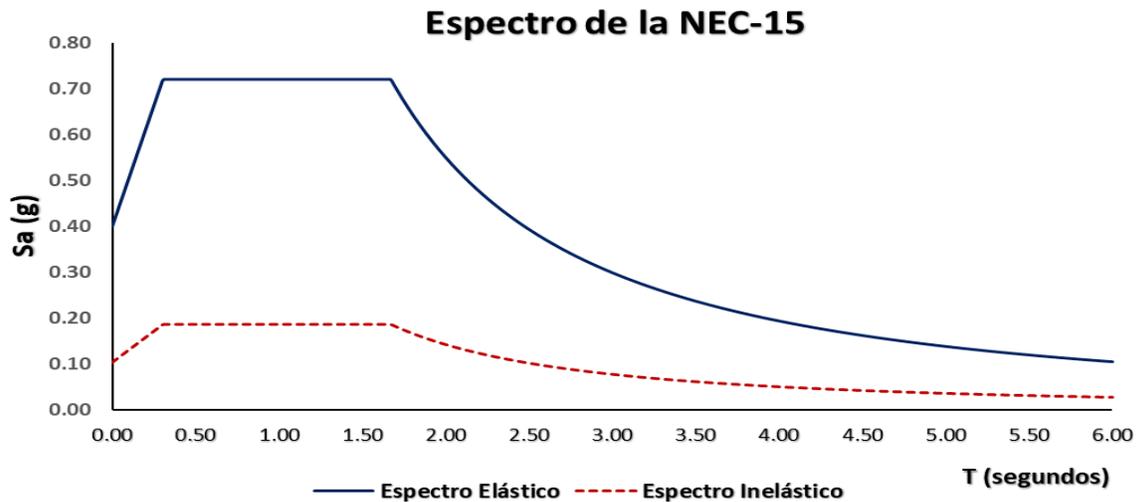
Parámetros de ingreso – espectro inelástico

Tipo de Suelo	E	Tipo de Suelo
Z=	0.4	Factor de Zonificación
Fa=	1	Factor de Sitio
Fd=	1.6	Factor de Sitio
Fs=	1.9	Factor de comportamiento inelástico del
η =	1.8	Razón entre Sa y el PGA
T0=	0.30	
Tc=	1.67	
r=	1.5	Factor de Ubicación geográfica
I=	1.3	Factor de Importancia
R=	5	Factor de reducción
fi p	1	Penalización en planta
fi e	1	Penalización en elevación

Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 37

Construcción del espectro de la Nec-15



Fuente: Nec-15 (2015)

Se ha optado por un análisis modal, mediante la utilización de un espectro de diseño, siguiendo los lineamientos establecidos por la NEC-15.

4.1.1.3 Combinaciones de carga

Las estructuras y sus componentes deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las siguientes combinaciones de carga:

- Estados Límites de Resistencia:

$$U = 1.2D + 1.6L \quad (\text{ASCE 7-16 } 2.3,1,2)$$

$$U = 1.2D + 0.5L + 1.0 SX \quad (\text{ASCE 7-16 } 2.3,6,6)$$

$$U = 1.2D + 0.5L + 1.0 SY \quad (\text{ASCE 7-16 } 2.3,6,6)$$

- Estado Límite de Servicio:

$$S = 1.0D + 0.5 L$$

4.1.2 Modelo estructural sin propuesta de reforzamiento

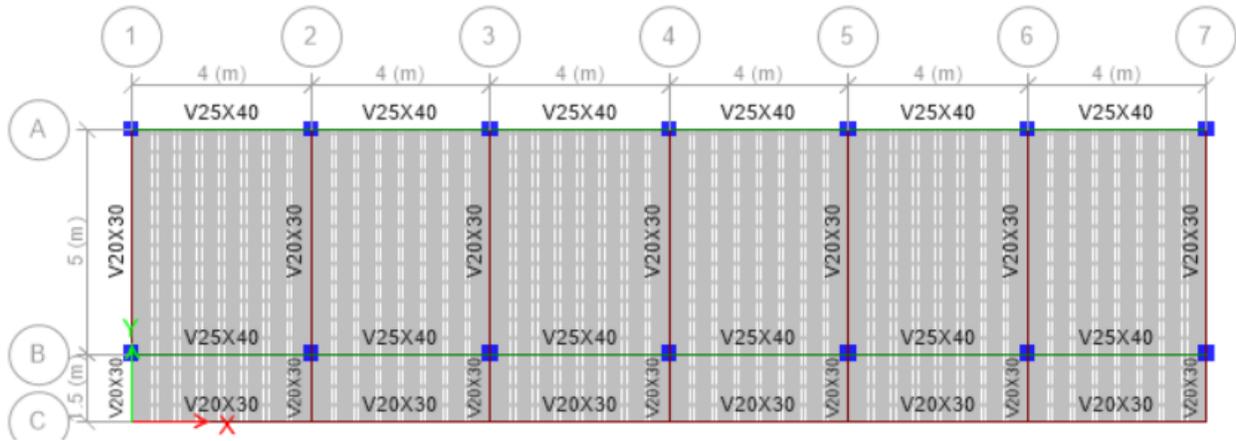
El modelo estructural de la Unidad Educativa, se lo desarrollo en el software de elementos finitos Etabs, mediante un análisis espectral, con sus bases empotradas. En esta sección se indicarán todos los parámetros y las propiedades d ellos elementos ingresados al modelo.

4.1.2.1.1 Ejes geométricos de la estructura

Los ejes del modelo fueron asignados de acuerdo con los ya establecidos en los planos estructurales, esto facilitará futuras revisiones.

Figura 38

Ejes Definidos para el Modelo Estructural



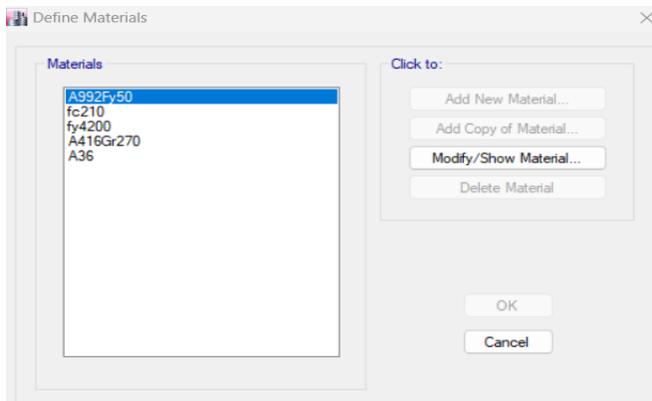
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.1.2 Materiales

Los materiales ingresados al análisis fueron los siguientes:

Figura 39

Definición de Materiales



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Se asignó $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a todos los elementos de hormigón, como son: losas de cubierta, vigas y columnas, para ser conservador en los resultados. El acero de refuerzo ha sido asignado con un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.2.1.3 Definición de elementos estructurales

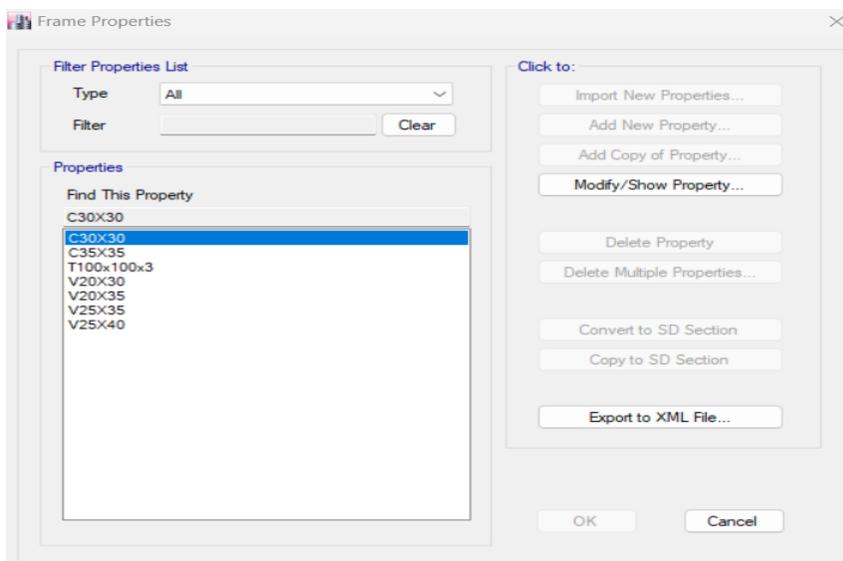
La definición de los elementos estructurales consiste en la colocación de las propiedades de los materiales y secciones a los elementos frame.

4.1.2.1.3.1 Columnas y Vigas

Las secciones de vigas y columnas mostradas a continuación fueron revisadas, diseñadas y posteriormente representadas en los respectivos planos estructurales.

Figura 40

Elementos frame



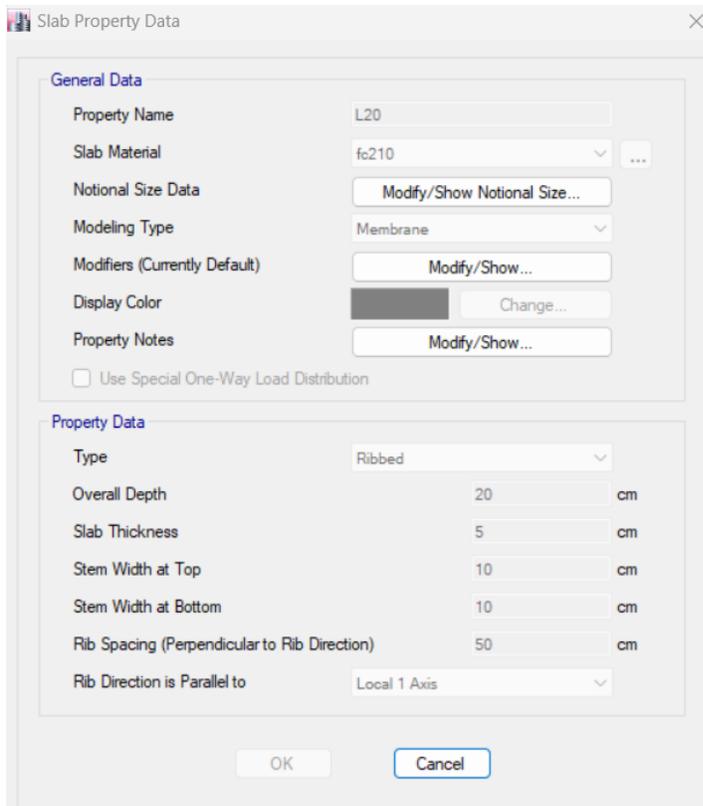
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.1.3.2 Losa

Se asignó una losa de hormigón de 20cm de altura, nervada en un sentido a todas las losas de la edificación, sin cajoneta.

Figura 41

Losa nervada de piso 1 y 2



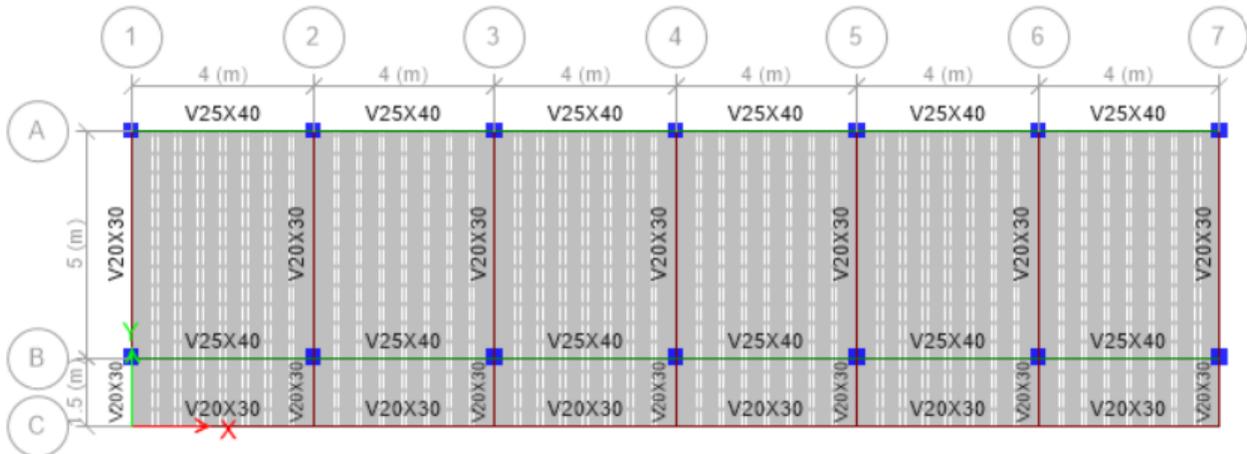
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.2 Asignación de elementos estructurales

La asignación de los elementos al modelo tridimensional consiste en dibujar los mismos teniendo en cuenta los ejes y longitudes de vigas, columnas y losas representados en los planos.

Figura 42

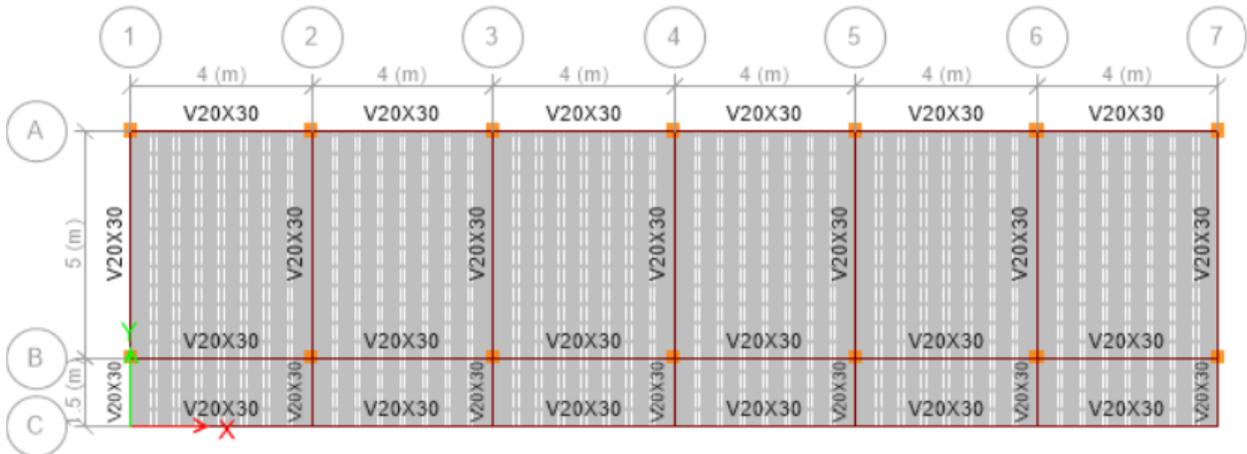
Asignación de elementos estructurales de piso 1

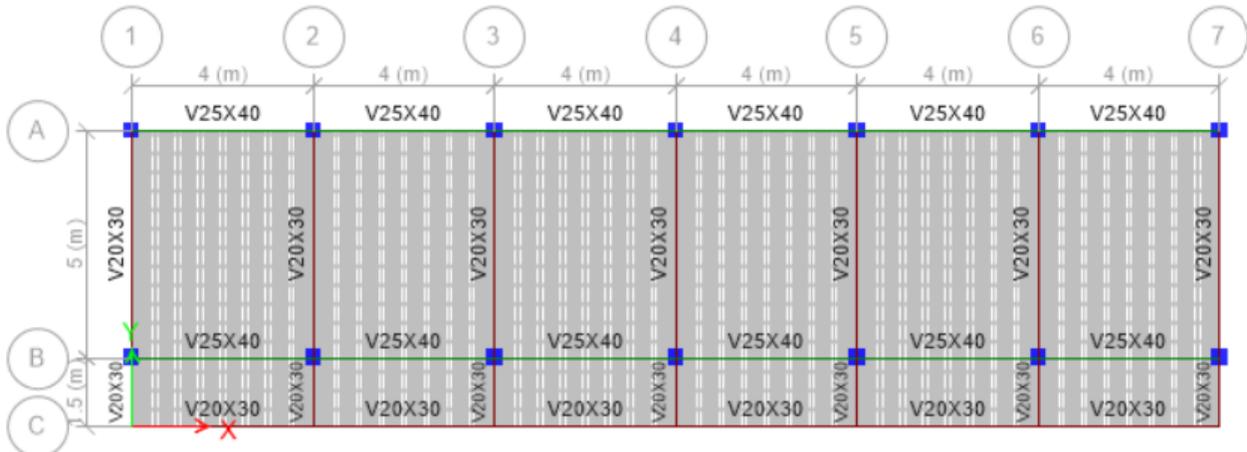


Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 43

Asignación de elementos estructurales de piso 2





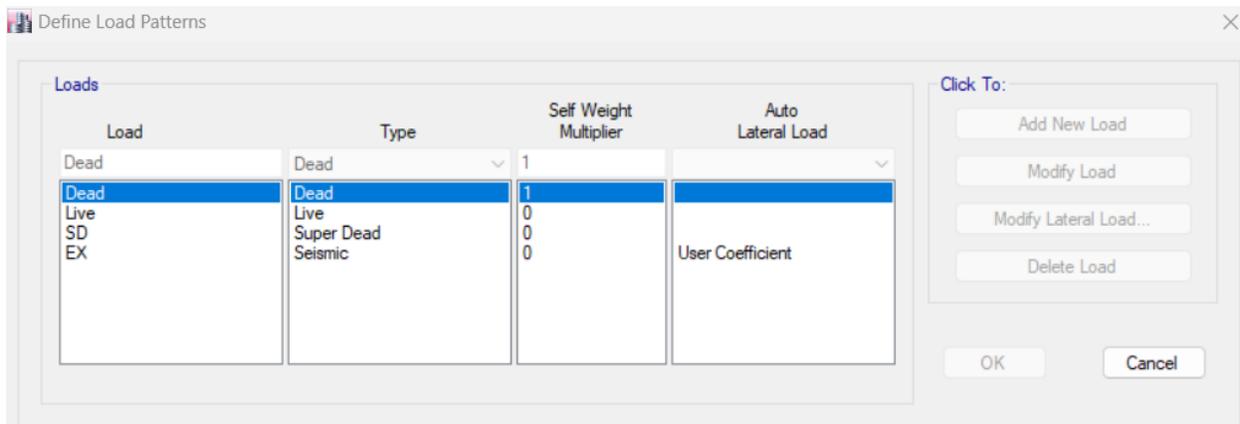
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.3 Patrones de carga

Previo a la asignación de las fuerzas gravitacionales, se encuentran definidos los siguientes patrones de carga:

Figura 44

Definición de patrones de carga



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.4 Cargas consideradas

En esta sección se indicarán las cargas que fueron ingresadas al modelo en base a las consideraciones del capítulo 4.1.1 de este trabajo de titulación.

4.1.2.4.1 Dead Load

La carga muerta refleja en el modelo el peso propio de los elementos estructurales de la superestructura.

4.1.2.4.2 SD Load

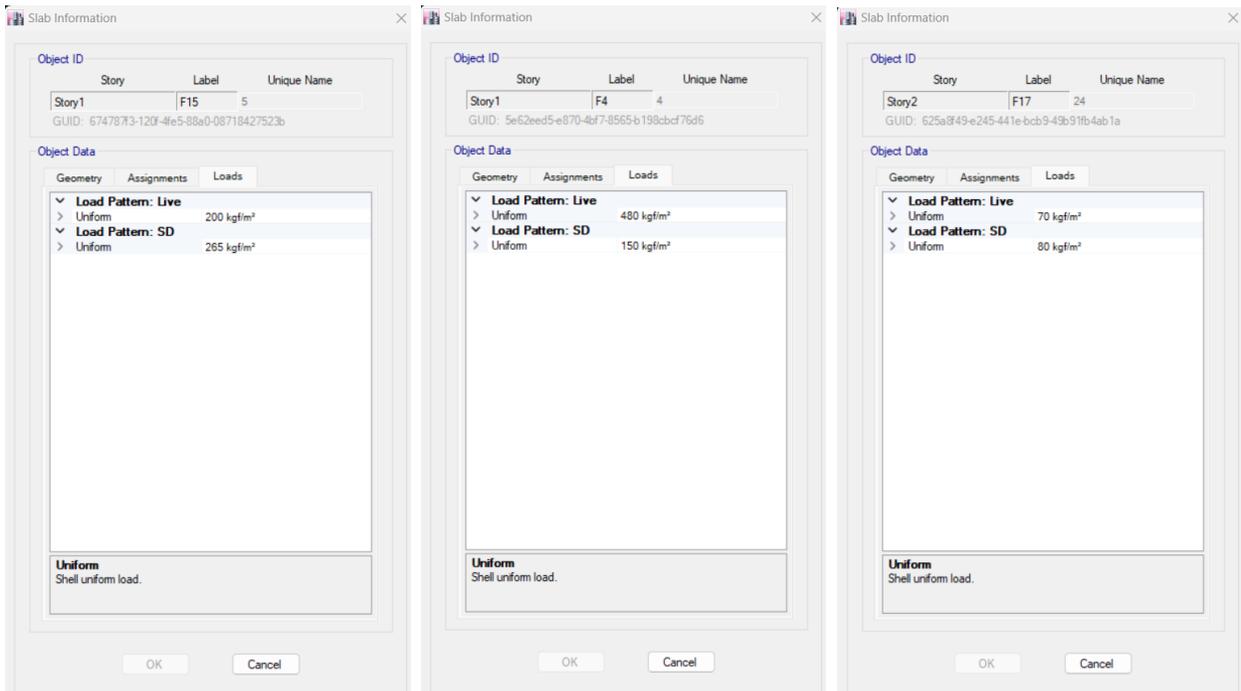
La carga muerta adicional corresponde a la carga adicional de entrepiso.

4.1.2.4.3 Live load

La carga asignada a las losas de aulas fue de 200kg/m², mientras que a las losas de cubierta se asignó 70kg/m².

Figura 45

Carga sobre losas



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.4.4 Sismo

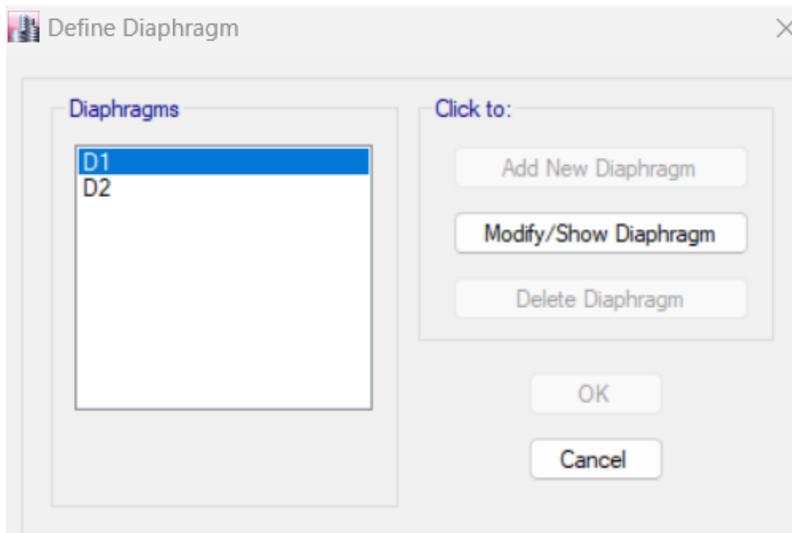
La acción sísmica, se ha considerado en función de las especificaciones de la NEC-SE-DS-15. El espectro de diseño inelástico se construyó de acuerdo con las especificaciones para suelo tipo E y zona sísmica V.

4.1.2.5 Diafragma rígido

Se asignó un diafragma a todos los puntos del elemento Shell de cada planta con el objetivo de formar un piso rígido.

Figura 46

Definición de diafragma de piso rígido



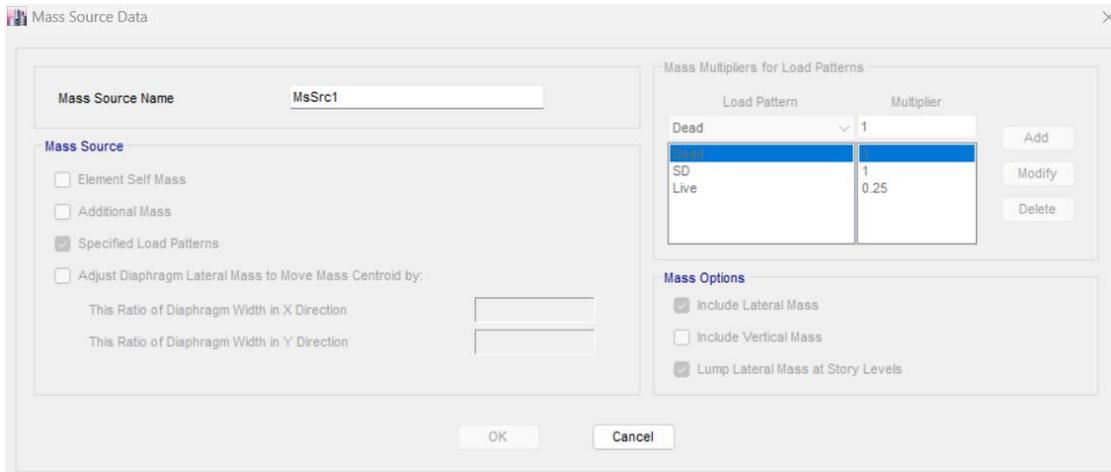
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.6 Masa de la estructura

La masa participativa de la estructura se ha definido considerando el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva.

Figura 47

Definición de la fuente de masa participativa



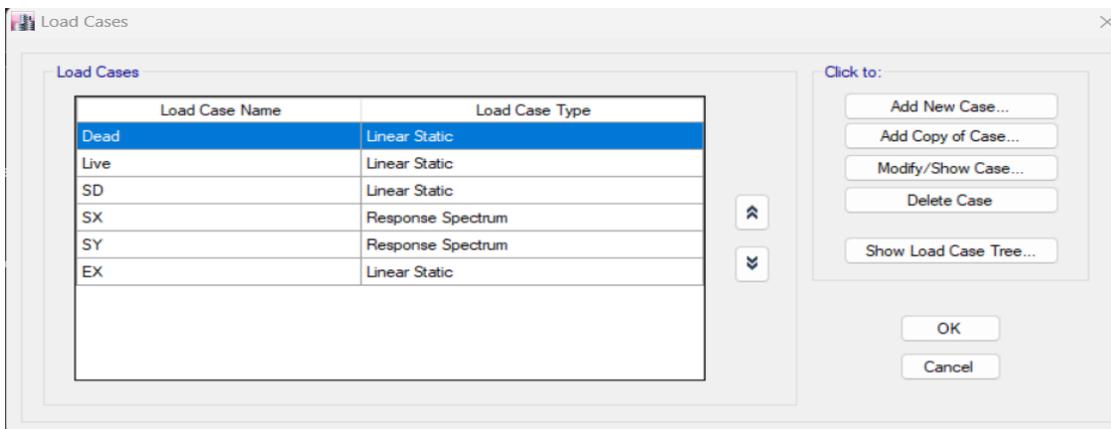
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.7 Casos de carga para el análisis

Se definieron cuatro casos de carga, cuatro para cargas gravitacionales, dos casos para cargas sísmicas por medio del espectro de respuesta.

Figura 48

Definición de casos de carga



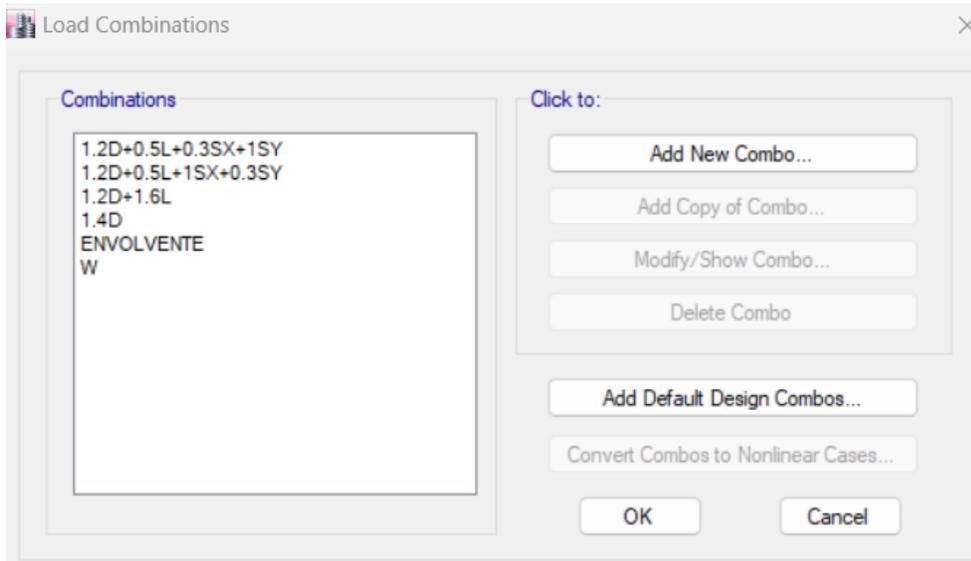
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.8 Combinaciones de diseño

Las combinaciones de diseño ingresadas para los elementos estructurales se indican a continuación:

Figura 49

Combinaciones de carga del modelo



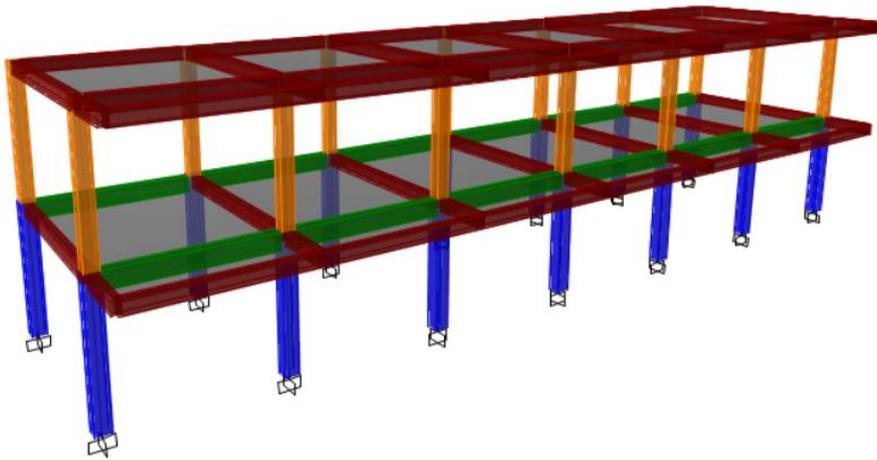
Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.9 Resultados del análisis espectral sin propuesta de reforzamiento

En esta sección se mostrará los resultados obtenidos del análisis estructural, se obtendrá los resultados de desplazamiento de piso, deriva de piso, cortante de piso y revisión de la demanda de diseño estructural de sus elementos.

Figura 50

Modelo tridimensional



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.9.1 Desplazamientos

Figura 51

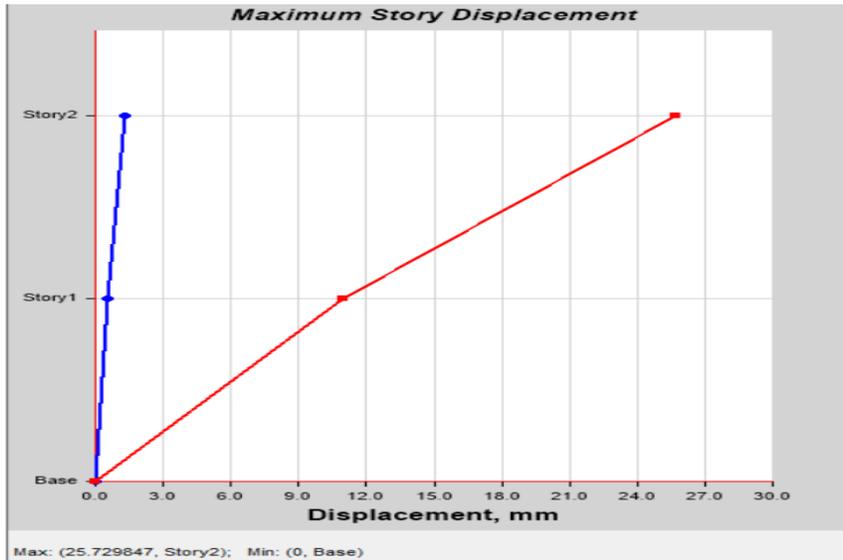
Desplazamiento máximo, caso SX



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 52

Desplazamiento máximo, caso SY



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

El desplazamiento máximo producido en el eje X bajo la acción del caso de carga SX es:

$$(10.00\text{mm}) \times 5 \times 0.75 = 3.75\text{cm}$$

El desplazamiento máximo producido en el eje Y bajo la acción del caso de carga Sy es:

$$(25.73\text{mm}) \times 5 \times 0.75 = 9.65\text{cm}$$

4.1.2.9.2 Derivas de piso

La deriva de piso es producto de la deflexión lateral del sistema, esta deflexión se produce por fuerzas laterales sísmicas. De los resultados obtenidos se puede calcular la deriva inelástica máxima de piso mediante la ecuación propuesta por la NEC-SE-DS.

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E$$

Dónde:

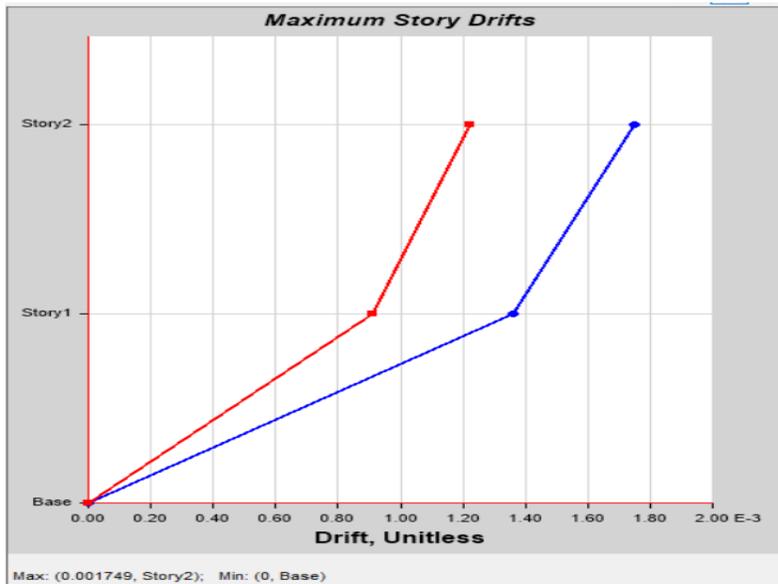
R= factor de reducción de resistencia

Δ_M = debe ser menor al 2% (0.02)

Δ_E , es la deriva elástica de cada piso y es obtenida del resultado del análisis en Etabs

Figura 53

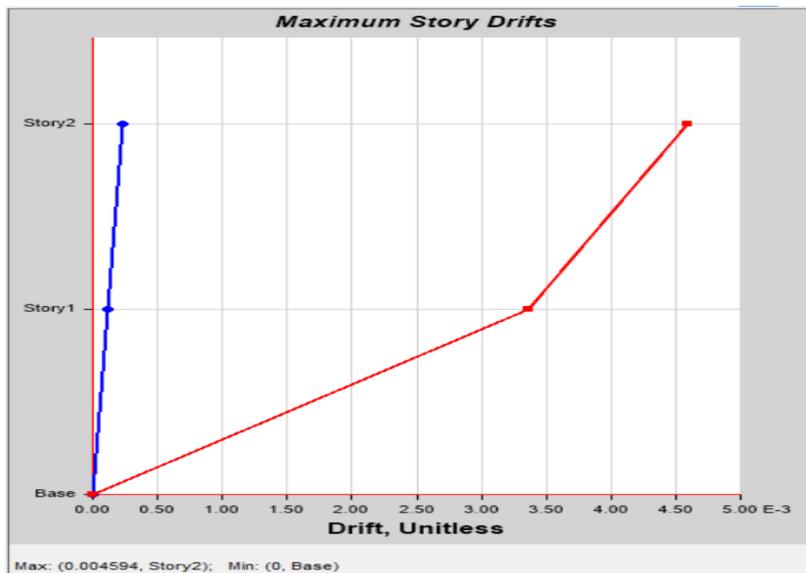
Deriva máxima, caso SX



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 54

Deriva máxima, caso SY



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

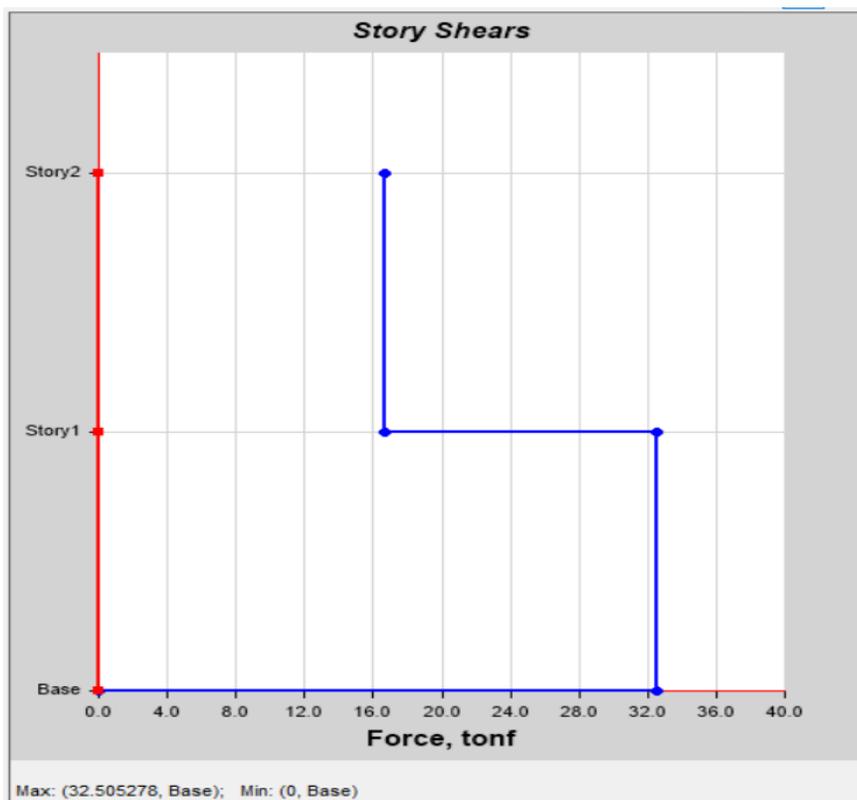
La deriva máxima obtenida en el sentido X, bajo el caso de carga SX es; $0.66\% < 2.00\%$
OK

La deriva máxima obtenida en el sentido Y, bajo el caso de carga SY es; $1.73\% < 2.00\%$
OK

4.1.2.9.3 Cortante de piso

Figura 55

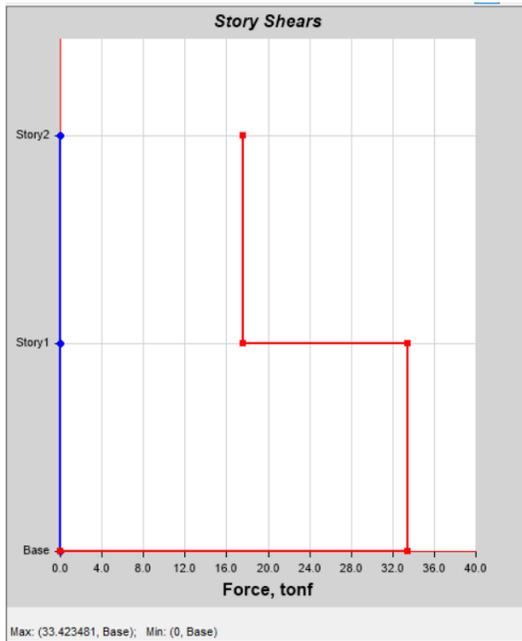
Cortante de piso, debido a SX



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 56

Cortante de piso, debido a SY



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.9.4 Análisis Modal

Se ha verificado que la masa participativa en los dos sentidos principales sea mayor al 90%, de acuerdo con las recomendaciones establecidas en NEC-15. Así también se ha notado que en su comportamiento estructural en el segundo modo de vibración es un modo torsional, lo cual no es un comportamiento deseado.

Figura 57

Resultados de análisis modal

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	0.581	0	0.8356	0	0	0.8356	0	0.2238	0	2.562E-06	0.2238	0	2.562E-06
Modal	2	0.502	0.0387	2.041E-06	0	0.0387	0.8356	0	5.32E-06	0.0121	0.8028	0.2238	0.0121	0.8028
Modal	3	0.383	0.8101	0	0	0.8488	0.8356	0	0	0.1969	0.0379	0.2238	0.209	0.8407
Modal	4	0.212	8.949E-07	0.1644	0	0.8488	1	0	0.7761	3.901E-06	1.101E-05	0.9999	0.209	0.8407
Modal	5	0.194	0.0222	1.438E-05	0	0.871	1	0	0.0001	0.1138	0.1368	1	0.3228	0.9775
Modal	6	0.171	0.129	0	0	1	1	0	1.251E-06	0.6772	0.0225	1	1	1

Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.9.5 Demanda de acero requerido en elementos estructurales

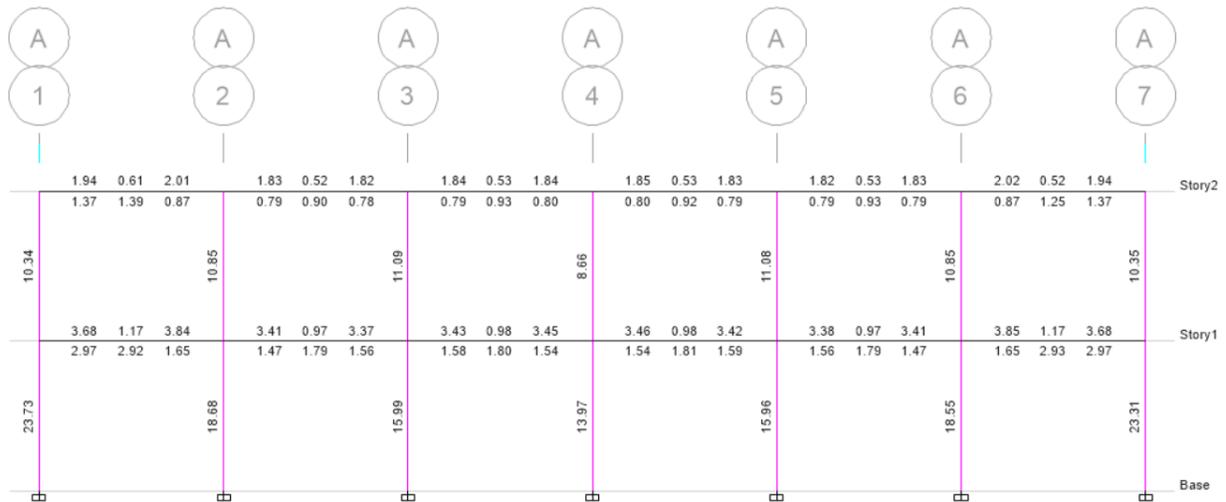
La demanda de acero requerida por cada elemento es calculada en función de su demanda última, mediante un análisis modal de tipo espectral. Así también el programa verifica que se cumpla con los requisitos mínimos de diseño, es decir:

$$Resistencia\ de\ diseño \geq Resistencia\ requerida$$

$$\phi R_n \geq R_u$$

Figura 58

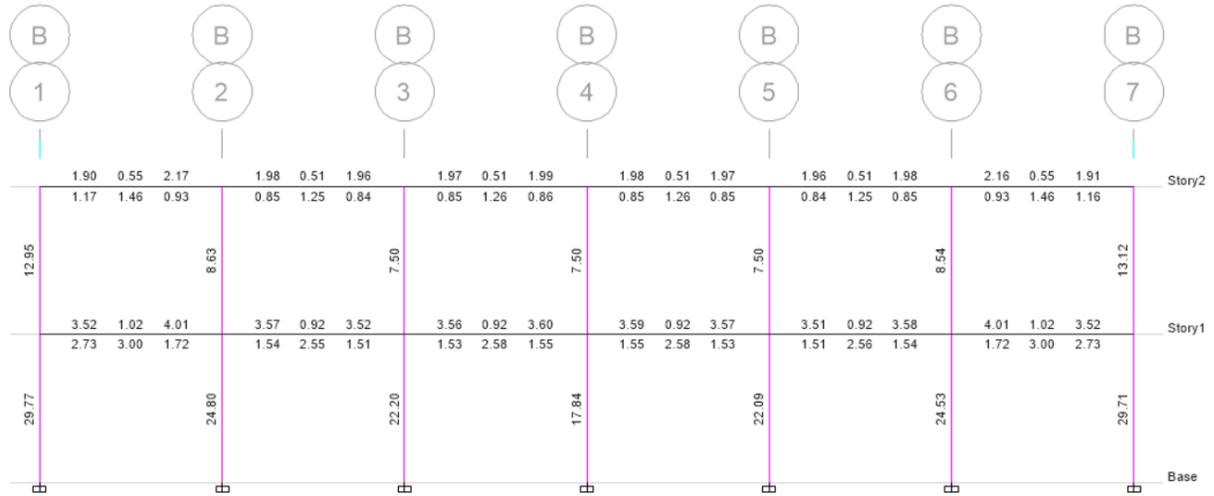
Demanda de acero requerido en pórtico del eje A



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 59

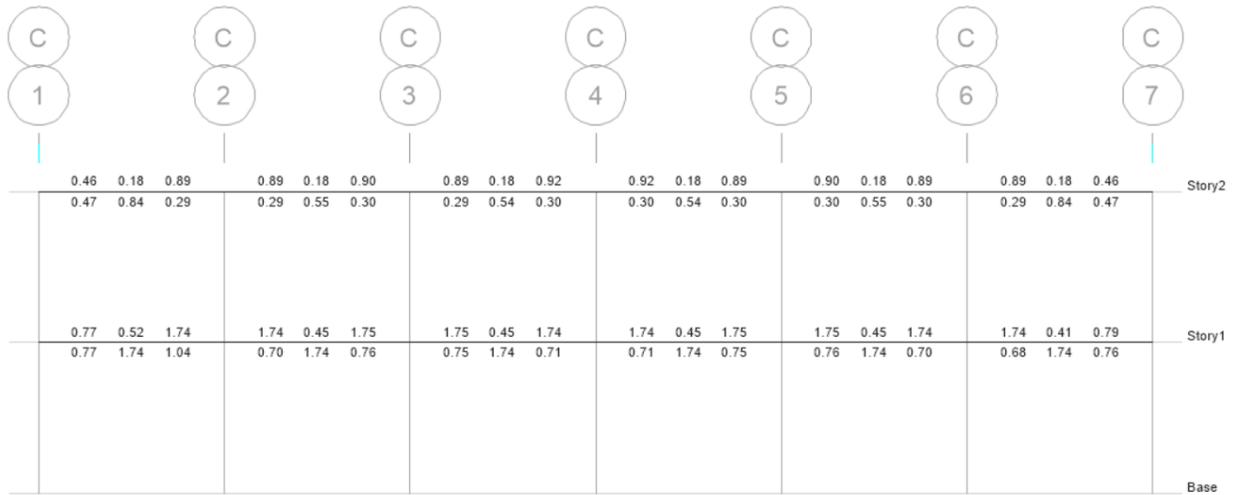
Demanda de acero requerido en pórtico del eje B



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 60

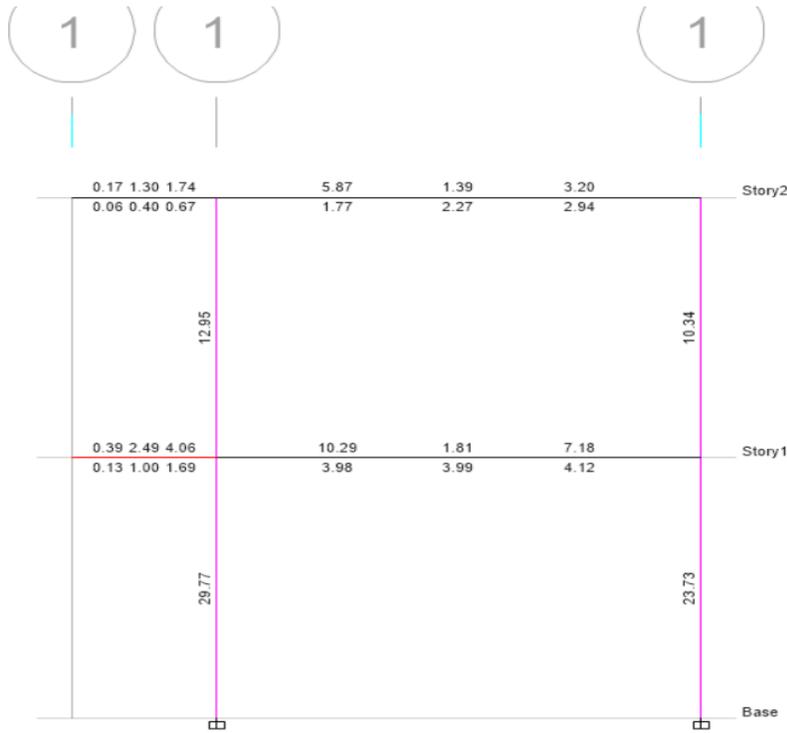
Demanda de acero requerido en pórtico del eje C



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 61

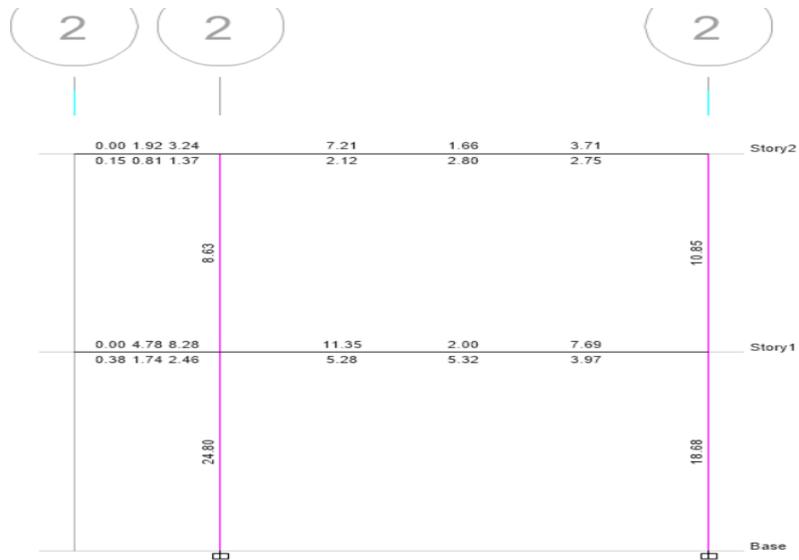
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 1



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 62

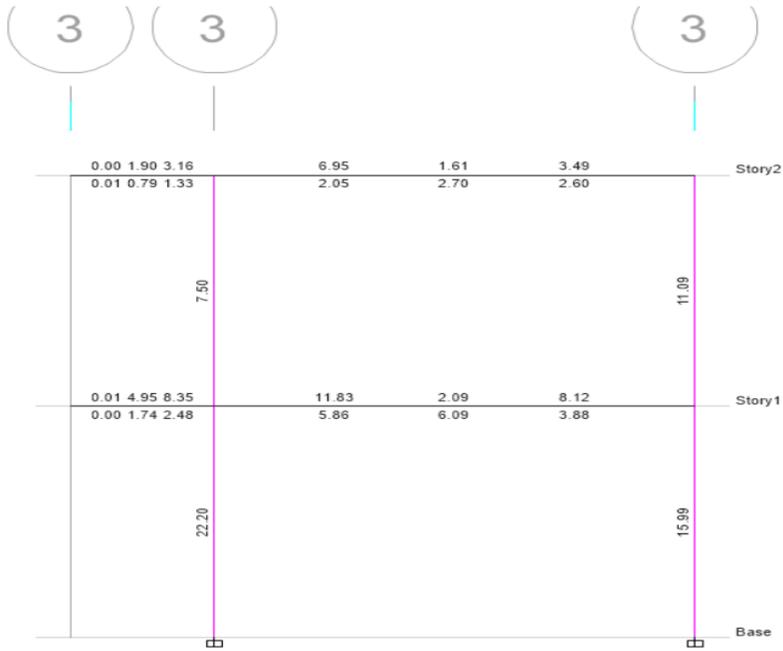
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 2



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 63

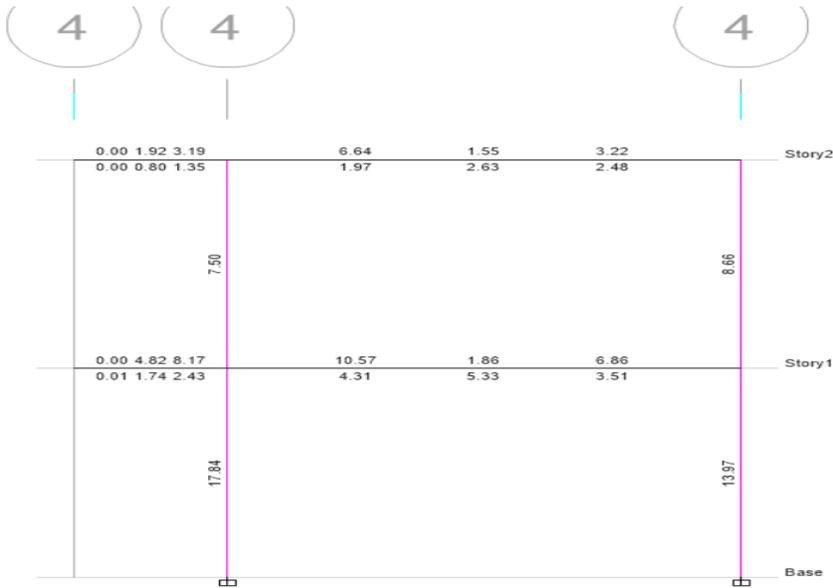
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 3



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 64

Demanda de acero requerido en pórtico del eje 4



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 65

Demanda de acero requerido en pórtico del eje 5



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 66

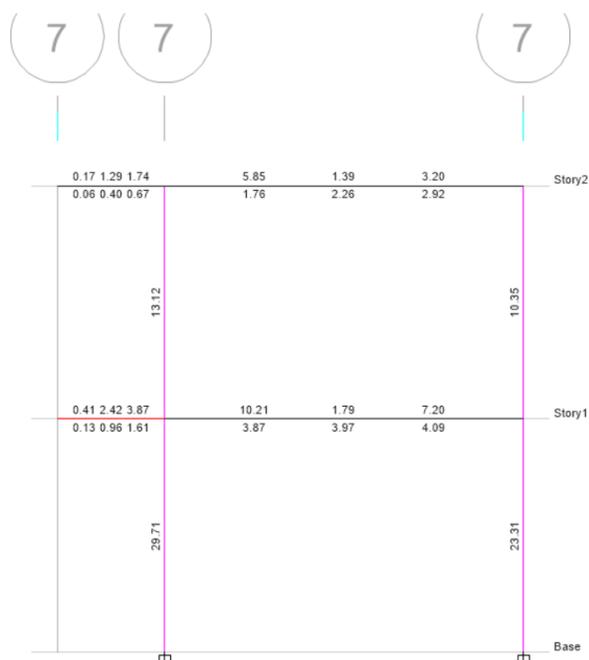
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 6



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 67

Demanda de acero requerido en pórtico del eje 7



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.2.9.6 Evaluación del comportamiento estructural inicial

El comportamiento estructural del edificio sin reforzamiento, al ser sometido al sismo de diseño de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 en su capítulo de Peligro Sísmico, para suelo tipo E, en Guayaquil, evidencia un desplazamiento considerable en el sentido débil de la estructura, este comportamiento está directamente relacionado con su deriva de piso máxima. La deriva de piso máxima en el mismo sentido de la estructura se encuentra muy cerca del límite establecido para estructuras de hormigón armado de acuerdo con la normativa vigente, lo que significa que, al estar sometida a dichas fuerzas sísmicas, la estructura deberá tener una buena disposición de su acero de refuerzo para que tenga un buen comportamiento inelástico y consecuentemente sea capaz de disipar la fuerza sísmica que ingresa al sistema estructural.

La fuerza cortante basal que ingresa en el sistema cumple con lo establecido en el capítulo 6.2.2 de la NEC-SE-DS, es decir el cortante basal obtenido por análisis dinámico debe ser mayor al 85% del cortante basal estático para estructuras irregulares.

El análisis modal capta los modos de vibración de la estructura más importantes al igual que la determinación de propiedades dinámicas como la frecuencia, así también este análisis ayuda a verificar que la masa participativa en los sentidos principales de la estructura sea mayor al 90%. Se puede observar que la estructura presenta torsión en su segundo modo de vibración, lo cual no es recomendable debido a que se espera que los dos primeros modos de vibración sean traslacionales y que capturen al menos el 50% de su masa participativa. Este comportamiento es entendible debido a que la estructura es mucho más rígida en un sentido que otro.

El cálculo de la demanda de acero de refuerzo en sus elementos estructurales utilizando Etabs, deja en evidencia las altas demandas de acero en columnas, razón por lo cual el armado de estas conduciría a cuantías de acero de refuerzo arriba del 2.00%, lo cual no es tan común al momento de diseñar columnas de hormigón armado porque conduciría a problemas de trabajabilidad en obra.

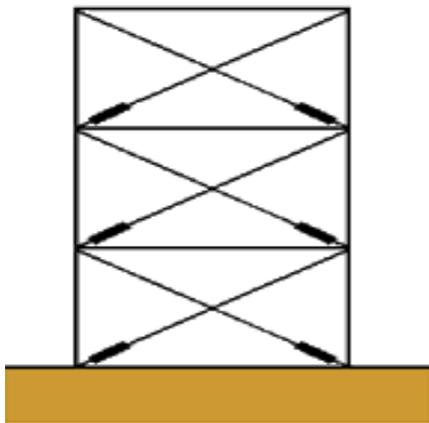
En función de los resultados obtenidos en este análisis inicial, queda en evidencia la necesidad de implementar una propuesta de reforzamiento que ayude a corregir el comportamiento de la estructura ante el sismo de diseño de la NEC-15 para suelos tipo E de Guayaquil, en términos de deformaciones, resistencia de los elementos y reparación de daños existentes.

4.1.3 Modelo estructural con propuesta de reforzamiento

En esta propuesta se propone instalar 4 diafragmas metálicos rígidos de arriostramiento concéntrico tipo "X" al análisis inicial, los diafragmas se unen a las columnas y vigas mediante placas metálicas con inclusión de anclajes, a continuación, se muestra el esquema propuesto.

Figura 68

Esquema de arriostramiento concéntrico tipo "X"



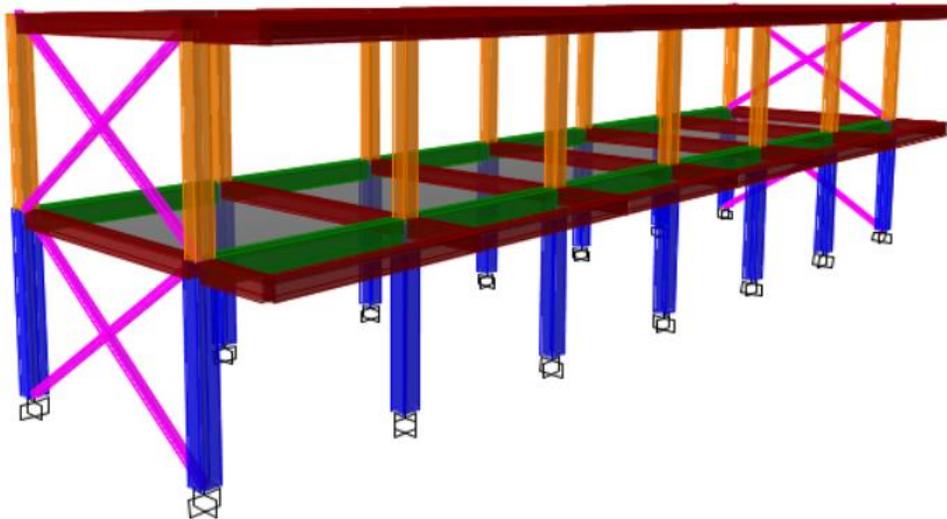
Fuente: Mera, W. (2017)

4.1.3.1 Resultados del análisis espectral con propuesta de reforzamiento

En esta sección se mostrará los resultados obtenidos del análisis estructural con reforzamiento, se obtendrá los resultados de desplazamiento de piso, deriva de piso, cortante de piso y revisión de la demanda de diseño estructural de sus elementos.

Figura 69

Modelo tridimensional con reforzamiento

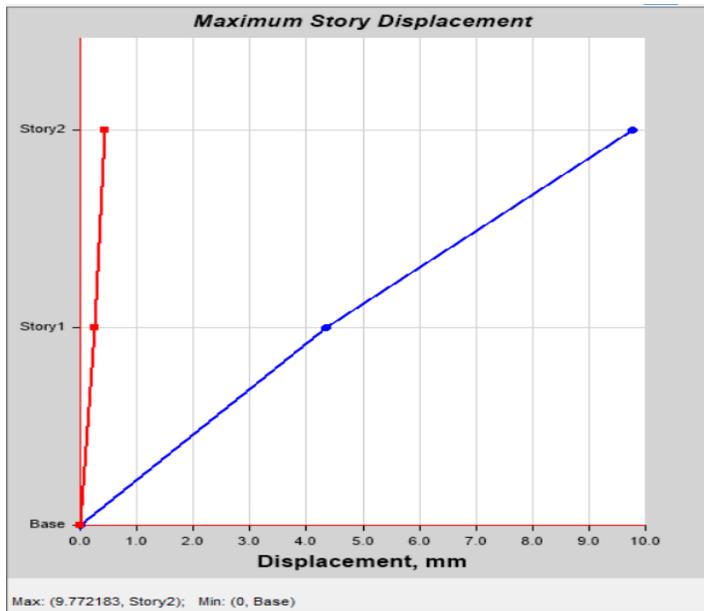


Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.3.1.1 Desplazamientos

Figura 70

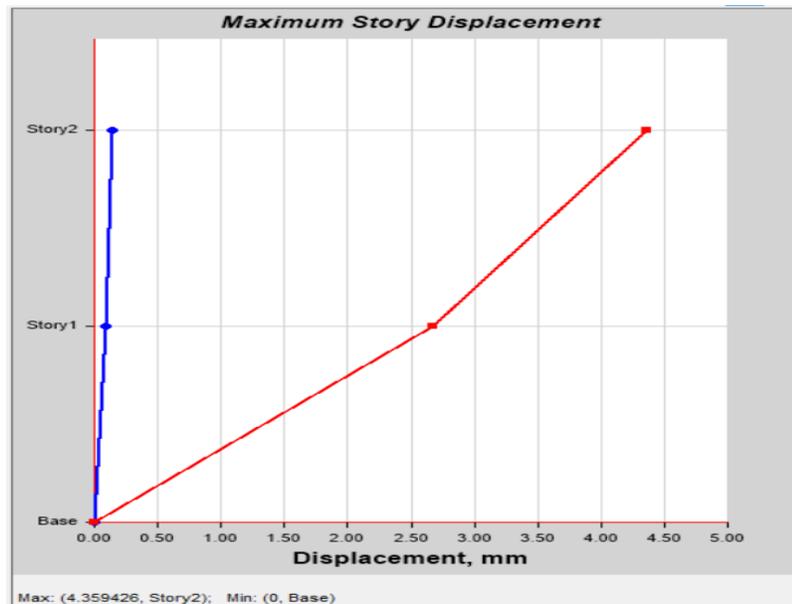
Desplazamiento máximo, caso SX



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 71

Desplazamiento máximo, caso SY



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

El desplazamiento máximo producido en el eje X bajo la acción del caso de carga SX es:

$$(9.77\text{mm}) \times 5 \times 0.75 = 3.66\text{cm}$$

El desplazamiento máximo producido en el eje Y bajo la acción del caso de carga Sy es:

$$(4.36\text{mm}) \times 5 \times 0.75 = 1.64\text{cm}$$

4.1.3.1.2 Derivas de piso

La deriva de piso es producto de la deflexión lateral del sistema, esta deflexión se produce por fuerzas laterales sísmicas. De los resultados obtenidos se puede calcular la deriva inelástica máxima de piso mediante la ecuación propuesta por la NEC-SE-DS.

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E$$

Dónde:

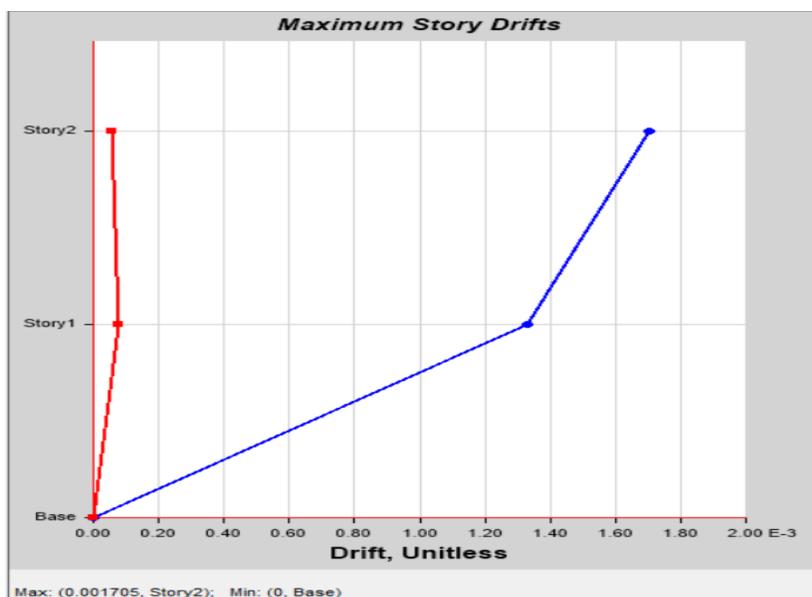
R= factor de reducción de resistencia

Δ_M = debe ser menor al 2% (0.02)

Δ_E , es la deriva elástica de cada piso y es obtenida del resultado del análisis en Etabs

Figura 72

Deriva máxima, caso SX



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 73

Deriva máxima, caso SY



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

La deriva máxima obtenida en el sentido X, bajo el caso de carga SX es; 0.64% < 2.00%
OK

La deriva máxima obtenida en el sentido Y, bajo el caso de carga SY es; 0.31% < 2.00%
OK

4.1.3.1.3 Análisis Modal

Se ha verificado que la masa participativa en los dos sentidos principales sea mayor al 90%, de acuerdo con las recomendaciones establecidas en NEC-15. Así también se ha notado que, en su comportamiento modal, los dos primeros modos de vibración son traslacionales, el cual es un comportamiento deseado.

Figura 74

Resultados del análisis modal

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	0.388	0.8483	0	0	0.8483	0	0	0	0.2096	0.0008	0	0.2096	0.0008
Modal	2	0.256	0	0.9419	0	0.8483	0.9419	0	0.0987	0	6.898E-07	0.0987	0.2096	0.0008
Modal	3	0.175	0.0167	0	0	0.865	0.9419	0	4.902E-06	0.1218	0.811	0.0987	0.3314	0.8118
Modal	4	0.174	0.1349	0	0	0.9999	0.9419	0	7.594E-07	0.6681	0.1428	0.0987	0.9994	0.9546
Modal	5	0.113	0	0	0	0.9999	0.9419	0	0	0	0	0.0987	0.9994	0.9546
Modal	6	0.113	0	0	0	0.9999	0.9419	0	0	0	0	0.0987	0.9994	0.9546
Modal	7	0.113	2.95E-05	0	0	1	0.9419	0	0	0.0002	7.274E-06	0.0987	0.9997	0.9546
Modal	8	0.113	1.053E-06	0	0	1	0.9419	0	0	0.0001	7.842E-06	0.0987	0.9997	0.9546
Modal	9	0.106	0	0.058	0	1	0.9999	0	0.9008	0	0	0.9995	0.9997	0.9546
Modal	10	0.073	3.828E-05	0	0	1	0.9999	0	1.365E-06	0.0003	0.0453	0.9995	1	0.9998
Modal	11	0.002	0	9.455E-07	0	1	0.9999	0	8.667E-06	0	0	0.9995	1	0.9998
Modal	12	0.002	0	0	0	1	0.9999	0	0	0	3.081E-06	0.9995	1	0.9998

Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.3.1.4 Demanda de acero requerido en elementos estructurales

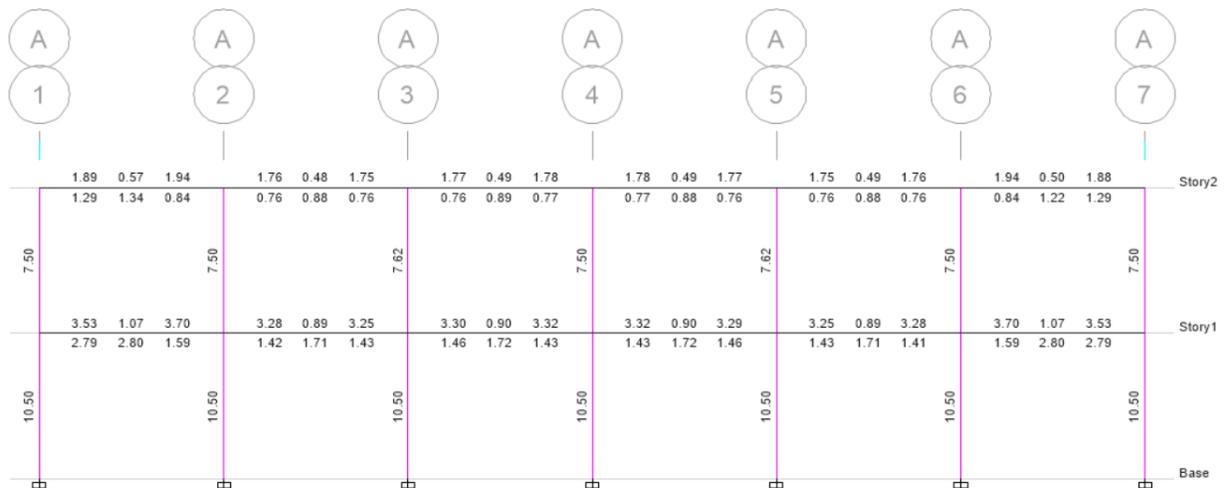
La demanda de acero requerida por cada elemento es calculada en función de su demanda última, mediante un análisis modal de tipo espectral. Así también el programa verifica que se cumpla con los requisitos mínimos de diseño, es decir:

$$Resistencia\ de\ diseño \geq Resistencia\ requerida$$

$$\phi R_n \geq R_u$$

Figura 75

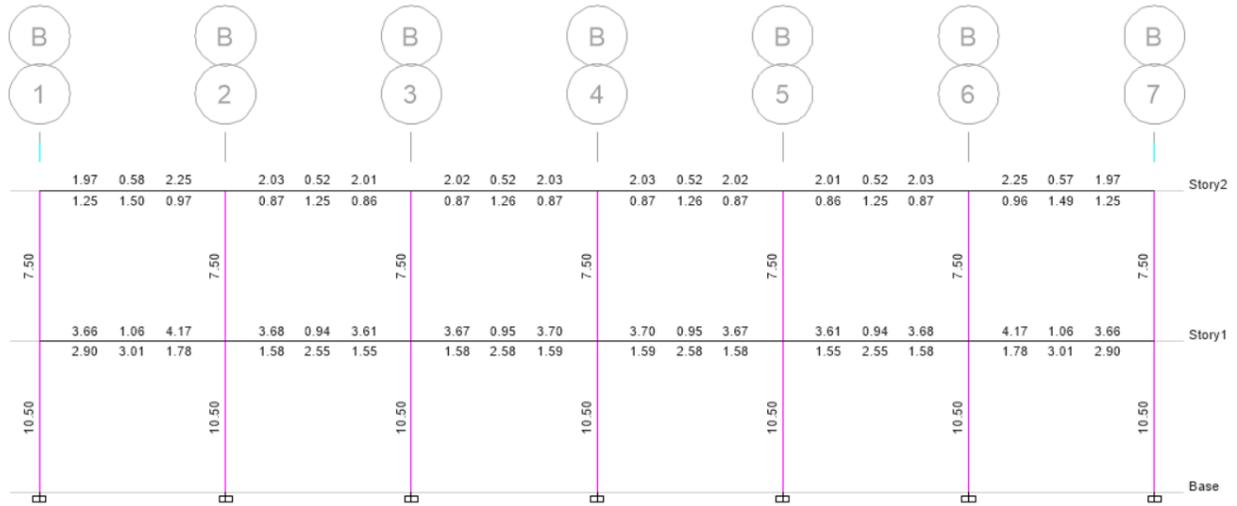
Demanda de acero requerido en pórtico del eje A



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 76

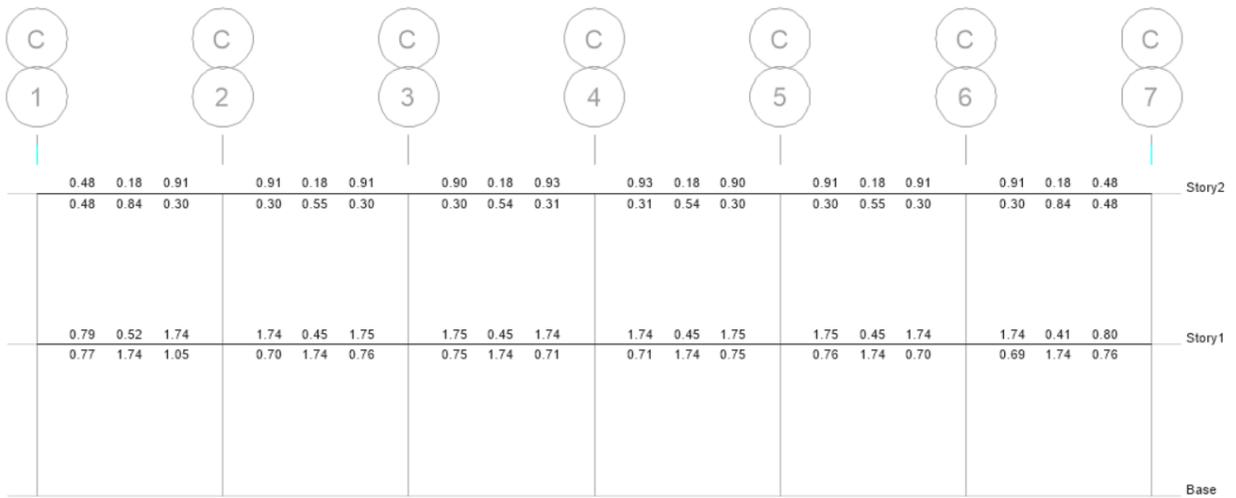
Demanda de acero requerido en pórtico del eje B



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 77

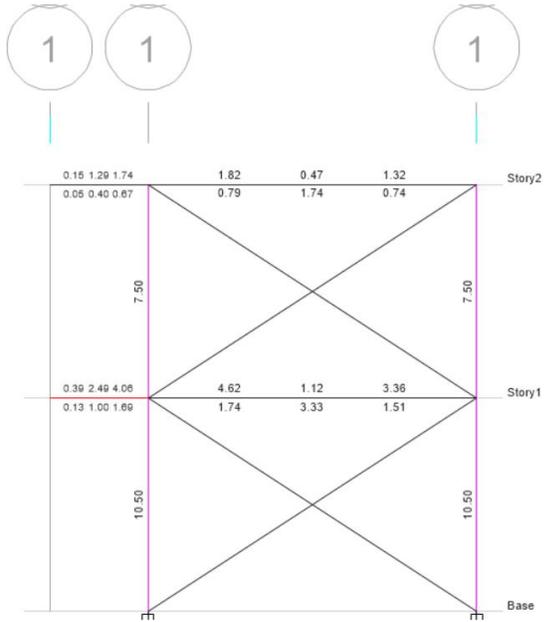
Demanda de acero requerido en pórtico del eje C



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 78

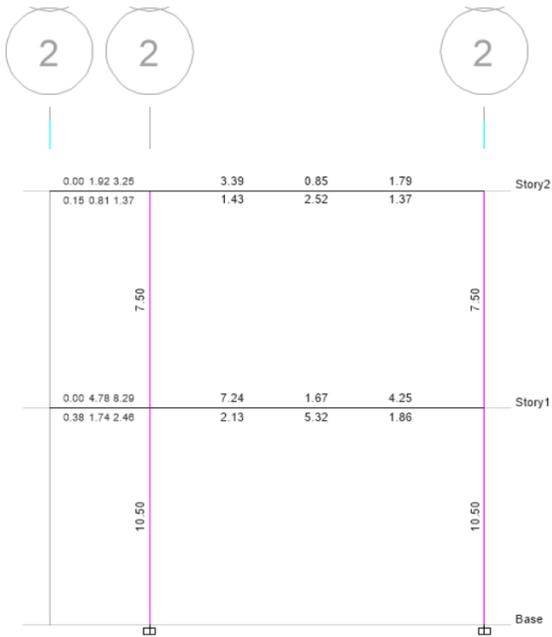
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 1



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 79

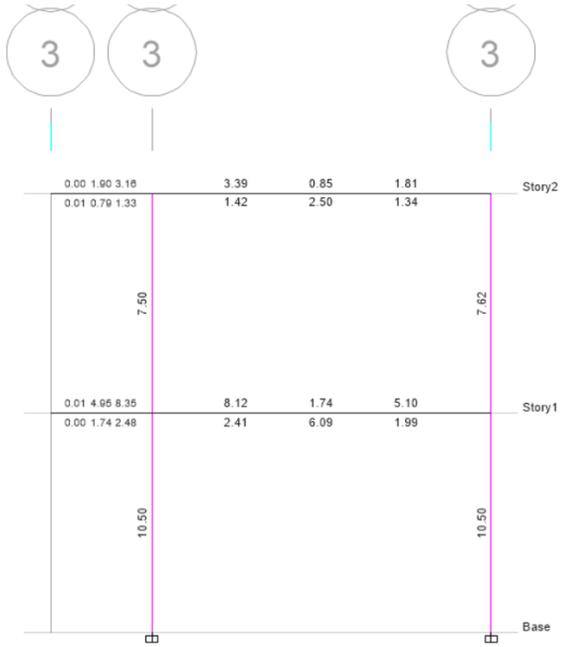
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 2



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 80

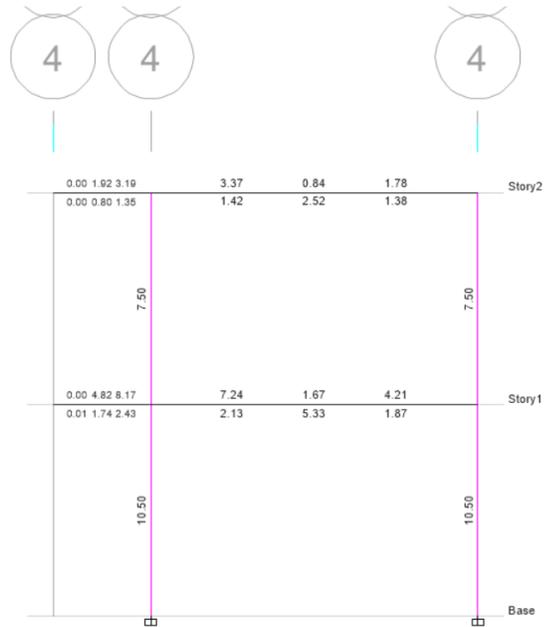
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 3



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 81

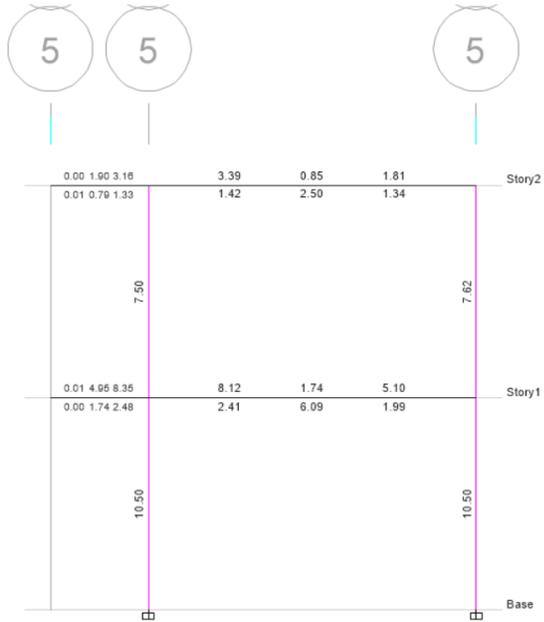
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 4



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 82

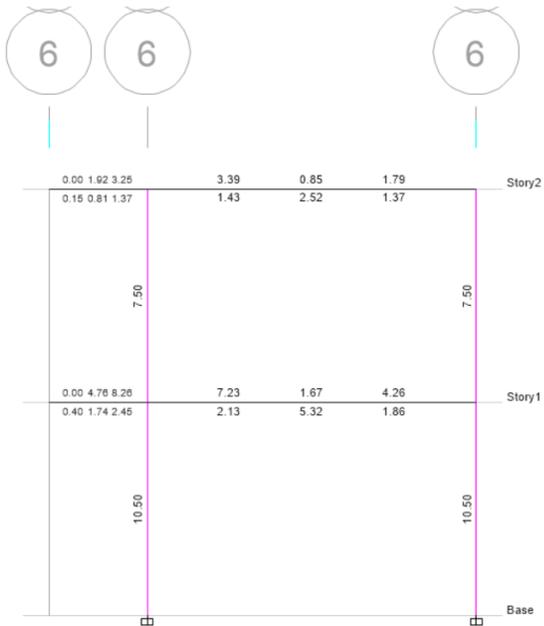
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 5



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 83

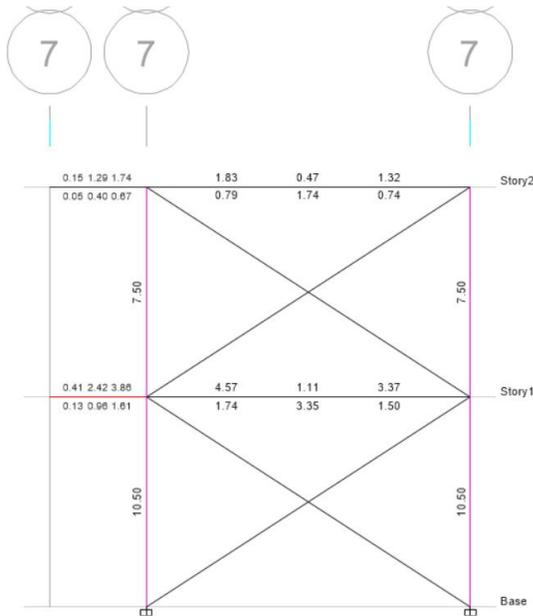
Demanda de acero requerido en pórtico del eje 6



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Figura 84

Demanda de acero requerido en pórtico del eje 7



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

4.1.3.1.5 Evaluación del comportamiento estructural con reforzamiento

Una vez identificado el comportamiento de la estructura inicial, se pudo notar dos problemáticas bien definidas; existe irregularidad en planta, la misma que genera efectos torsionales a la estructura, aumentando la demanda en sus elementos resistentes y la falta de rigidez en el sentido débil de la misma (sentido Y), lo que genera desplazamientos que cruzan los límites de deformación de los elementos no estructurales y que se manifiestan en sitio como fisuras o grietas, esto ha sido evidenciado en el capítulo 3 de este trabajo de titulación.

Al modelo inicial se colocaron 4 diafragmas metálicos rígidos de arriostramiento concéntrico tipo “X”, en los pórticos 1 y 7 en el sentido débil de la estructura y se evidenció un comportamiento adecuado de la estructura.

La fuerza cortante basal que ingresa en el sistema cumple con lo establecido en el capítulo 6.2.2 de la NEC-SE-DS, es decir el cortante basal obtenido por análisis dinámico debe ser mayor al 85% del cortante basal estático para estructuras irregulares.

El análisis modal muestra que el sistema está considerando más del 90% de la masa participativa en los sentidos principales de la estructura, así también se pudo ver que la rigidización del sistema contribuyó a que los dos primeros modos de vibración sean traslacionales y el tercer modo torsional, el cual es un comportamiento deseado en el diseño de estructuras.

En relación con los desplazamientos observados del análisis con la propuesta de reforzamiento, se ha observado una reducción significativa en las deformaciones del sentido débil de la estructura, reduciendo consecuentemente las derivas máximas de piso, garantizando un comportamiento adecuado ante deformaciones laterales producidas por el sismo de diseño.

El cálculo de la demanda de acero de refuerzo en los elementos estructurales utilizando Etabs, muestra una reducción en la demanda de las columnas en el sistema rigidizado y esto es debido a que los diafragmas rígidos contribuyen significativamente a la rigidez del sentido débil de la estructura. El acero requerido en columnas muestra una demanda del 1.00%.

En conclusión, a la propuesta

Con la propuesta de reforzamiento de diafragmas concéntricos de tipo “X” implementado en la unidad educativa, se buscaba hacer que el edificio cumpla con ciertos requisitos que toda estructura debe cumplir como mínimo ante la ocurrencia de un sismo, siguiendo las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015.

Se detectó mediante los resultados obtenidos del análisis estructural del edificio en el programa Etabs, que cuando ocurra el sismo determinado en este estudio, la estructura se moverá de tal forma que provocará daños serios debido a que sus elementos estructurales no podrán soportar la fuerza del sismo, por un efecto rotatorio que se produce cuando una estructura es demasiado larga en comparación con su ancho. Así también se observó que tanto los desplazamientos del edificio como las varillas de acero que requerían las columnas eran demasiado elevadas para este tipo de estructuras.

La propuesta de reforzamiento contribuyó significativamente en la respuesta que tendrá la estructura ante la presencia del sismo determinado en el estudio, se notó que la forma de desplazarse de la estructura ya no presenta efectos rotatorios, lo cual hace que las fuerzas que van a soportar sus elementos resistentes al sismo no sean tan elevadas. Así también se observó una reducción considerable en los desplazamientos del edificio logrando que sus paredes y recubrimientos de sus elementos estructurales no sufran daños.

CONCLUSIONES

- El edificio de la Unidad Educativa “División de Infantería” de Guayaquil, fue afectado por el sismo del de marzo de 2023 y como consecuencia de este se produjeron daños no estructurales en mampostería y recubrimientos de sus elementos.
- Se ha realizado un diagnóstico detallado de los daños encontrados en la Unidad Educativa “División de Infantería” de Guayaquil, los mismos que han sido ocasionados por fuerzas sísmicas debido a la falta de rigidez de la estructura en sus elementos resistentes, destacando entre lo más importante el daño extensivo de fisuración de las paredes de mampostería de la edificación.
- El edificio fue analizado de acuerdo a lo que dispone la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, de acuerdo a las cargas gravitacionales propias del proyecto y utilizando el espectro de diseño para un suelo tipo E.
- El análisis espectral inicial ha demostrado el comportamiento que la estructura tendría al estar sometida al sismo de diseño establecido por la NEC-15 en su capítulo de Peligro Sísmico, el mismo que evidencia la falta de rigidez en el sentido corto de la edificación demostrando altos desplazamientos y derivas de piso cercanas al límite. Siendo congruente con los daños evidenciados en la estructura. Razón por lo cual se vio la necesidad de reforzar la estructura.
- Se realizó la propuesta de reforzamiento mediante diafragmas metálicos en sus dos pórticos externos, a través de perfiles tipo cajón con placas y anclaje de unión al sistema. Evidenciando un comportamiento adecuado en sus tres modos de vibración inicial, una reducción significativa en términos de desplazamiento y derivas de piso máxima. Así también una reducción en la demanda de sus elementos resistentes ante la acción sísmica.
- Se ha realizado la elaboración de planos estructurales con una propuesta de reforzamiento para la Unidad Educativa “División de Infantería” de Guayaquil, en los cuales se presenta detalles estructurales que deben aplicarse para reducir el riesgo ante el sismo de diseño propuesto para la estructura. Los planos estructurales se encuentran como anexo a este trabajo de titulación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda reparar las fisuras presentadas en vigas y columnas como producto del sismo de marzo de 2023 y sus réplicas a través de la utilización de materiales epóxicos.
- Se recomienda realizar la implementación del sistema de reforzamiento planteado en este trabajo de titulación, mediante la utilización de un sistema dual tipo diafragma en "X" en los pórticos mencionados en este estudio, con la finalidad de mejorar la rigidez lateral del edificio y el comportamiento adecuado del mismo.
- Se recomienda la utilización de fibras de carbono en las uniones de vigas y columnas para mejorar el comportamiento de los mismo, ya que estos suelen estar comprometidos ante la presencia del sismo de diseño.
- Se recomienda retirar el recubrimiento de las columnas y vigas en la zona de unión con las placas de anclaje para evitar que haya incidencia con su acero de refuerzo, así también la colocación de epóxicos en sus elementos de anclaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acerofom.S.A. (2023). *Sistema constructivo*. Obtenido de Acerofom.S.A:
<https://www.acerofom.com.mx/blog/sistema-constructivo/>
- Burgos, M. (2023). *DISIPADORES DE ENERGIA*. Obtenido de CDV representaciones:
<https://mabieperu.com/publicaciones/publicacion04.pdf>
- Caicedo, Y. (2022, MARZO 17). *Análisis de las normativas NEC-15 y ACI 318-14 para el uso de muros de corte de hormigón armado en edificios de estructura metálica en la ciudad de Guayaquil para mejorar su desempeño sísmico*. Obtenido de REPOSITORIO DIGITAL ULVR : <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4995>
- CARRILLO COBEÑA, R. A. (2016, MARZO 15). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMA A MOMENTO Y SISTEMA ARRIOSTRADO CONCENTRICO DE UNA EDIFICACION DE ESTRUCTURA METALICA*. Obtenido de REPOSITORIO DE UNIVERSIDAD GUAYAQUIL:
<https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0acb99d9-0f2d-4585-ac65-647ce76976af/content>
- Castillo, L. (2023, Marzo 22). *308 planteles educativos afectados por el sismo en Ecuador*. Obtenido de El comercio : <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/308-planteles-educativos-afectados-por-el-sismo-en-ecuador.html>
- Construyendo seguro. (2023). *Qué es el diafragma rígido y cuál es su importancia*. Obtenido de Construyendo seguro: <https://www.construyendoseguro.com/que-es-el-diafragma-rigido-y-cual-es-su-importancia/>
- Cunalata, F., & Caiza, P. (2022, Abril 12). *Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador*. Obtenido de SciELO:
http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292022000300055
- Editorial Etecé. (2023, Noviembre 19). *Falla geológica*. Obtenido de Concepto:
<https://concepto.de/falla-geologica/>

- El Comercio. (2014, Agosto 26). *Ecuador está asentado sobre tres sistemas de fallas geológicas*. Obtenido de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/ecuador-asentado-tres-sistemas-fallas-1.html>
- Espinoza, G., Zúñiga, G., Huancachoque, K., Pineda, H., & Flores, N. (2021, Junio). *Placa o muro de corte*. Obtenido de Studocu: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-peruana-de-ciencias-aplicadas/modelacion-estructural-i-mei/placas-o-muros-de-corte/17066777>
- Fuentes, S.; González, L., Calderín, F., Sánchez, Y. (2018, septiembre 12). *Consideraciones acerca del diseño sismorresistente de edificios de acero en cuba*. Obtenido de Obtenido de CIGET: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358509002/html/>
- Herrera, O., & Nuñez, T. (2023, Marzo 31). *Análisis de indicadores de cómo lograr la sostenibilidad en la construcción de una vivienda*. Obtenido de Repositorio Digital ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6155>
- INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SÍSMICA. (2020). *FALLAS GEOLÓGICAS*. Obtenido de INPRES: <http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>
- Lambert, M., & Mendez, L. (2023). *ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA Y PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA IGLESIA STELLA MARIS, UBICADO EN EL GUASMO SUR DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL*. Obtenido de Repositorio Digital ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/6593/1/T-ULVR-5227.pdf>
- López, J. (2022, Septiembre 22). *Sismo resistencia de viviendas mixtas de una planta, ubicadas en Pedernales, provincia de Manabí*. Obtenido de REPOSITORIO DIGITAL ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5772>
- Lopez, M. (2014, Agosto 12). *Efectos del sismo de Quito de 12 de agosto de 2014 y su impacto socioeconómico en la parroquia Guayllabamba*. Obtenido de UASB-Digital: <http://hdl.handle.net/10644/5738>

- Pillajo, J., & Sarmiento, E. (2009, ABRIL). *Diseño de la estructura de acero para un edificio de apartamentos para ser utilizado en la región Litoral del Ecuador*. Obtenido de Repositorio Digital- EPN: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1357>
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016, Abril 04). *Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca*. Obtenido de SCIELO: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001#:~:text=Se%20podr%C3%ADa%20definir%20al%20peligro,severidad%20de%20los%20posibles%20eventos.
- REDACCIÓN NATIONAL GEOGRAPHIC. (2023, Febrero 06). *Qué es un terremoto*. Obtenido de NATIONAL GEOGRAPHIC: <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2023/02/que-es-un-terremoto>
- SOMMA. (2020). *Amortiguador de masas sintonizado*. Obtenido de SOMMA: <https://www.sommainternational.com/es/dispositivos-antisismicos/amortiguador-de-masas-sintonizado-tmd/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%3F,vientos%20u%20otras%20acciones%20din%C3%A1micas>.
- TAPIA, L., & PARRA, I. (2023). *USO DE FIBRA DE VIDRIO EN LOSAS DE CONCRETO ARMADO*. Obtenido de REPOSITORIA DIGITAL ULVR : <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/6158/1/T-ULVR-5012.pdf>
- Teknolojik İzolatör Sistemleri. (2024). *AISLAMIENTO SÍSMICO*. Obtenido de Teknolojik İzolatör Sistemleri: <https://www.tis.com.tr/es/aislamiento-sismico/>
- TOAPANTA, A., & TROYA, E. (2022, octubre 07). *Diseño estructural para una edificación de 4 niveles de hormigón armado aplicando metodología BIM*. Obtenido de Repositorio Digital ULVR: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5835>
- TRT. (2023, Marzo 19). *Un terremoto de magnitud 6,7 deja decenas de muertos en Ecuador*. Obtenido de TRT: <https://www.trt.net.tr/espanol/espana-y-america-latina/2023/03/17/aprueban-prorroga-del-estado-de-excepcion-en-el-salvador-1961146>

UNESCO. (2023, Agosto 10). *Inician misiones en cinco provincias de la República Dominicana con vistas a aplicación de la metodología VISUS para la mitigación de riesgos de desastres en instituciones escolares del país*. Obtenido de UNESCO:
<https://www.unesco.org/es/articulos/inician-misiones-en-cinco-provincias-de-la-republica-dominicana-con-vistas-aplicacion-de-la#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20VISUS%20fue%20desarrollada,metodolog%C3%ADa%20con%20un%20enfoque%20multirriesgo.>

VALENZUELA NUÑEZ, R. A. (2019, Noviembre 04). *Desempeño de marco arriostrado excéntricamente de varios niveles sin losa intermedia*. Obtenido de repositorio academico de la universidad de chile:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/172633/Desempe%C3%B1o-de-marco-arriostrado-exc%C3%A9ntricamente-de-varios-niveles-sin-losa-intermedia.pdf?sequence=1>

Vestaliablog. (2022, Noviembre 14). *Qué son los refuerzos estructurales*. Obtenido de Vestalia:
<https://vestalia.es/actualidad/que-son-refuerzos-estructurales/#:~:text=Los%20refuerzos%20estructurales%20son%20un,la%20estructura%20de%20un%20edificio.>

Anexos

Anexo 1

Bloque de aulas de la Unidad Educativa parte frontal



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Anexo 2

Fisura en la unión entre pared y columna



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Anexo 3

Fisura en la columna alado de la ventana



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Anexo 4

Fisura lateral en el muro de la del bloque de aulas



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Anexo 5

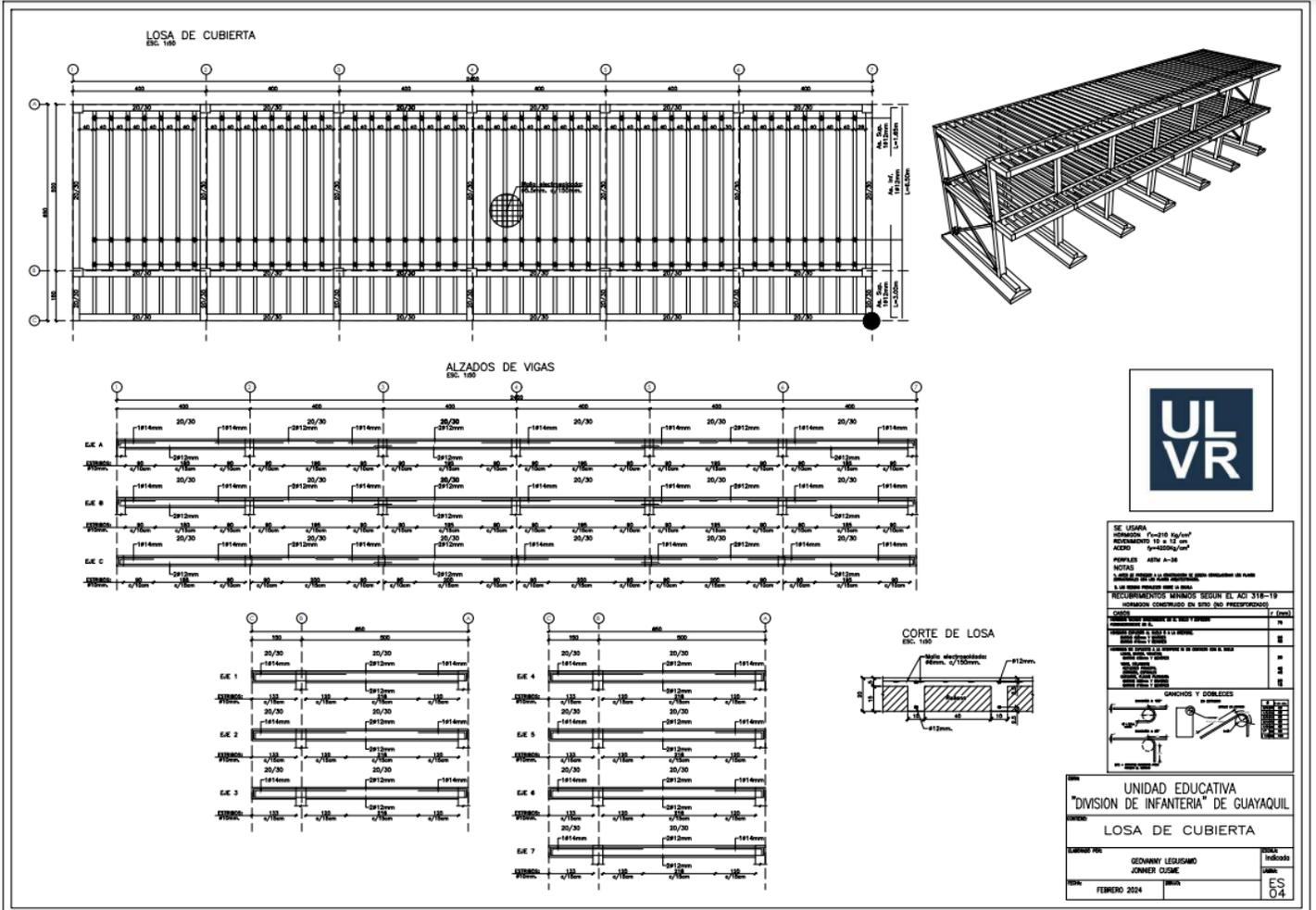
Fisura en el lateral de la puerta



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)

Anexo 9

Losa de Cubierta- Detalles estructurales



Elaborados por: Cusme, G. y Leguisamo, G. (2023)