



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SISMICA PARA LA
REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO BLOQUE 4 DEL
CAMPUS MACHALA**

**CELI GALVAN QUILVER ALEXIS
INGENIERO CIVIL**

**LEON PERALTA LUIS MIGUEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SISMICA PARA LA
REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO BLOQUE 4
DEL CAMPUS MACHALA**

**CELI GALVAN QUILVER ALEXIS
INGENIERO CIVIL**

**LEON PERALTA LUIS MIGUEL
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SISMICA PARA LA
REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO BLOQUE 4
DEL CAMPUS MACHALA**

**CELI GALVAN QUILVER ALEXIS
INGENIERO CIVIL**

**LEON PERALTA LUIS MIGUEL
INGENIERO CIVIL**

ORDOÑEZ FERNANDEZ JOSE LUIS

**MACHALA
2023**

TRABAJO LEON - CELI

por Luis León

Fecha de entrega: 28-feb-2024 01:42p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2307148228

Nombre del archivo: TRABAJO_LEON_-CELI..pdf (3.45M)

Total de palabras: 19912

Total de caracteres: 106417

TRABAJO LEON - CELI

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

< 1%

★ pdfs.semanticscholar.org

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

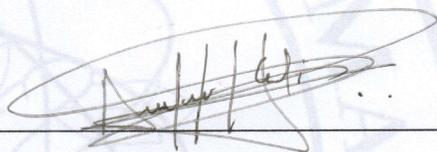
Los que suscriben, CELI GALVAN QUILVER ALEXIS y LEON PERALTA LUIS MIGUEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA SISMICA PARA LA REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO BLOQUE 4 DEL CAMPUS MACHALA, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

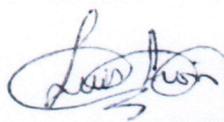
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



CELI GALVAN QUILVER ALEXIS

1105598047



LEON PERALTA LUIS MIGUEL

0750569592

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.1 Antecedentes:.....	8
1.1.1 Teoría de las Placas tectónicas.....	8
1.1.2 Ubicación geográfica del Ecuador.....	9
1.1.3 Zonificación Sísmica en el Ecuador.....	10
1.1.4 Patologías estructurales.....	12
1.1.5 Ubicación:.....	14
1.2 Descripción de la situación problemática:.....	15
1.3 Formulación del problema:.....	16
1.4 Alcance del Proyecto.....	16
1.5 Justificación.....	17
1.6 Objetivos.....	17
1.6.1 Objetivo General:.....	17
1.6.2 Objetivos Específicos:.....	18
2. CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	18
2.1 Antecedentes Contextuales.....	18
2.2 Antecedentes referenciales o históricos.....	19
2.3 Antecedentes conceptuales:.....	21
2.3.1 Principios de la sismorresistencia.....	21
2.3.2 Sísmicos.....	23
2.3.3 Cargas Gravitacionales.....	27
2.4. Controles a cumplir en la estructura.....	27
2.4.1 Capacidad de disipar energía.....	28
2.5. Rehabilitaciones.....	29
2.5.1. Rehabilitación sísmica en edificios.....	29
2.5.2. Estrategias de rehabilitación en edificios.....	30
2.6. Procedimiento de Análisis.....	30

2.6.1 Análisis lineal	30
2.6.2 Análisis no lineal.....	31
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	32
3.1 Modalidad básica de la investigación	32
3.2 Tipo de investigación.....	32
3.2.1 Documental.....	32
3.2.2 De campo	32
3.2.3 Descriptiva	33
3.3 Objeto de estudio	33
3.4 Descripción de la población y muestra	33
3.5 Métodos teóricos con los materiales utilizados	33
3.5.1 Modelación	34
3.5.2 Análisis:.....	44
CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	61
4.1. Análisis de resultados	61
4.1.1 Edificio de hormigón Armado con losa tipo Membrana.....	61
4.1.2 Edificio de hormigón Armado con losa tipo reticulada	70
4.1.2.2 Cálculos de los desplazamientos	75
5. Conclusiones y Recomendaciones	83
5.1 Conclusiones.....	83
6. Recomendaciones:	85
Bibliografía	86
Anexos.....	80

Índice de tablas

Tabla 1 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	8
Tabla 2 Factores que aumentan la probabilidad de daños estructurales.....	17
Tabla 3 Clasificación de las Ondas Sísmicas	19
Tabla 4 Factores que fortalece la resiliencia	22
Tabla 5 Valores de cargas por parte de NEC-SE-CG (2015).	23
Tabla 6 Controles estructurales	24
Tabla 7 Estrategias de mitigación.....	26
Tabla 8 Uso de la estructura de hormigón Armado	33
Tabla 9: Dimensiones de los elementos estructurales.....	39
Tabla 10: Cargas utilizados en la estructura	43
Tabla 11: Expresiones para el cálculo del ancho equivalente del puntal	46
Tabla 12: Ancho para puntales equivalentes del primer piso	46
Tabla 13: Ancho para puntales equivalentes del segundo piso	48
Tabla 14: Ancho para puntales equivalentes del tercer piso.....	49
Tabla 15: Ancho para puntales equivalentes del Cuarto piso.....	50
Tabla 16: Ancho para puntales equivalentes del Quinto piso.....	52
Tabla 17: Ancho para puntales equivalentes del Sexto piso	53
Tabla 18: Coeficientes de perfil de suelo	55
Tabla 19: Parámetros del espectro inelástico CEC-2000, NEC-2015.....	56
Tabla 20: Determinación del coeficiente k.....	58
Tabla 21: Valores de factor masa efectivo Cm.....	60
Tabla 22: Modos de Vibración y masa efectiva.....	62
Tabla 23: Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas	63
Tabla 24: Coeficientes para el cálculo del periodo	65
Tabla 25: Desplazamientos para el Sismo dinámico en X	66

Tabla 26: Desplazamientos para el Sismo dinámico en Y	67
Tabla 27: Valores Δ_M máxima.....	68
Tabla 28: Derivas para sismo dinámico en dirección X.....	68
Tabla 29: Derivas máximas elásticas e inelásticas	69
Tabla 30: Modos de Vibración y masa efectiva.....	71
Tabla 31: Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas.....	73
Tabla 32: Coeficientes para el cálculo del periodo	74
Tabla 33: Desplazamientos para el sismo dinámico en X.....	75
Tabla 34: Desplazamientos para el sismo dinámico en Y	76
Tabla 35: Derivas por sismo dinámico	78
Tabla 36: Derivas máximas inelásticas para el sismo dinámico en Y	79
Tabla 37: Cortantes de piso para cada dirección	80

Índice de figuras

Figura 1	Mapa de los bordes de las placas tectónicas	5
Figura 2	Mapa topográfico del Ecuador	6
Figura 3	Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y el valor del factor z	7
Figura 4	Diferencia entre columnas cortas y larga	8
Figura 5	Efectos de piso blando	9
Figura 6	a) Planta uni-simetrica b) Planta bi-asimétrica	9
Figura 7	Universidad Técnica de Machala Bloque 4.....	10
Figura 8	Árbol de problemas	11
Figura 9	Diafragma de resistencia a carga laterales	18
Figura 10	Daños durante el sismo de Haití en enero del 2010	19
Figura 11	Mapa de peligrosidad sísmica del Ecuador.....	21
Figura 12	Recuperación de un sistema con respecto al tiempo	22
Figura 13	Ejemplo de disipadores de energía.....	25
Figura 14	Modelo estructuras de hormigón Armado	34
Figura 15	Dimension de la viga	35
Figura 16	Sección de elementos estructurales para la PC y PB	36
Figura 17	Sección de elementos estructurales para la 1P y 2P	36
Figura 18	Sección de elementos estructurales para la 3P y 4P	37
Figura 19	Sección de elementos estructurales para la 5P	38
Figura 20	Sección de elementos estructurales columna entregada	38
Figura 21	Detalle de la losa.....	38
Figura 22	Configuración estructural en Elevación en dirección X	41
Figura 23	Configuración estructural en Elevación en dirección Y	42
Figura 24	Técnicas de modelación de mampostería	45
Figura 25	Espectro elástico de diseño en aceleraciones de la ciudad de Machala	57
Figura 26	Dirección de análisis – Edificio con losa tipo membrana.....	61

Figura 27 Determinación de S_a – Edificio con losa tipo Membrana	63
Figura 28 Ajuste de cortante en el eje X.....	64
Figura 29 Ajuste de cortante en el eje Y.....	64
Figura 30 Gráfica de desplazamientos para el Sismo dinámico en X	66
Figura 31 Gráfica de desplazamientos para el Sismo dinámico en Y	67
Figura 32 Gráfica de las derivas máximas	69
Figura 33 Gráfica de las derivas máximas para el sismo dinámico “Y”	70
Figura 34 Dirección de análisis- Edificio con losa tipo reticulada.....	71
Figura 35 Determinación de S_a – Edificio con losa tipo reticulada	72
Figura 36 Ajuste de cortante en el eje X.....	73
Figura 37 Ajuste de cortante en el eje Y.....	74
Figura 38 Gráfica de desplazamientos para el eje X	76
Figura 39 Gráfica de desplazamientos para el eje Y	77
Figura 40 Gráfica de la deriva inelástica para el sismo en X	78
Figura 41 Gráfica de la deriva máxima inelástica	79
Figura 42 Gráfica de la curva de capacidad	81
Figura 43 Formación de rotulas plásticas para un sismo en X	81
Figura 44 Curva de capacidad en eje de las Y-Y	82
Figura 45 Formación de rotulas plásticas para un sismo en Y	82
Figura 46 Registro de datos en Campo	92
Figura 47 Fisuración de paredes	93
Figura 48 Caseta en la terraza	93
Figura 49 Paredes colapsadas	94

Figura 50 Paredes derrumbadas	94
Figura 51 Cubierta del Edificio Bloque 4 Campos Machala	95
Figura 52 Exoesqueleto de acero	95

DEDICATORIA

Al culminar este arduo viaje académico, me encuentro lleno de gratitud y emoción. No puedo evitar mirar atrás y reflexionar sobre los momentos que nos han llevado hasta aquí.

A cada uno de ustedes, quiero dedicar estas palabras sinceras y profundas.

A mi familia que han sido mi faro en las noches más oscuras. Su amor incondicional y su apoyo inquebrantable me han sostenido cuando las cargas parecían insuperables.

Mamá, papá, su sacrificio económico ha sido el cimiento de mi educación. Cada centavo invertido en mis estudios ha sido una inversión en mi futuro. Su trabajo incansable y su dedicación han allanado el camino para que yo persiga mis sueños. Prometo honrar su esfuerzo y hacer que cada gota de sudor valga la pena.

A mi tutor, has sido una guía constante en este proceso. Tu sabiduría, paciencia y dedicación han sido un faro que nos ha iluminado en los momentos más desafiantes. Siempre dispuesto a ayudarnos, a corregirnos y a motivarnos, has sido más que un docente: un mentor y un amigo. Gracias por creer en nuestra capacidad y por impulsarnos a dar lo mejor de nosotros.

A mi compañero de titulación que, hemos compartido risas, desafíos y triunfos. Desde los días de preuniversitario hasta este momento, has sido mi confidente, mi aliado y mi compañero de batalla.

Quilver Alexis Celi Galvan

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar por agradecer a mi familia, pilar fundamental en mi vida y en este logro. A mis padres, por su amor incondicional, por su apoyo constante y por inculcarme desde pequeño el valor del estudio y la perseverancia. A mis hermanos, por su compañía, por sus palabras de aliento y por ser siempre un apoyo en los momentos difíciles. Sin ustedes, este camino no habría sido posible.

Agradezco a mi compañero de tesis, por su colaboración, por su dedicación y por compartir conmigo este viaje. Su amistad y apoyo fueron invaluable durante todo el proceso. Juntos enfrentamos los desafíos y celebramos las alegrías. Gracias por ser un compañero excepcional.

A mi tutor de tesis, le debo un enorme agradecimiento por su invaluable guía y por su paciencia infinita. Su conocimiento, experiencia y consejos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Agradezco su tiempo, dedicación y por creer en mí.

A mis amigos, por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por estar siempre presentes en mi vida. Gracias por las risas, por los momentos de complicidad y por ser un refugio en los momentos difíciles. Su amistad es un regalo invaluable.

También quiero agradecer a todos aquellos que de alguna manera me apoyaron durante este camino. A mis profesores, por compartir sus conocimientos y por su motivación. A mis colegas, por su colaboración y por su compañerismo. A las instituciones que me brindaron apoyo financiero y académico. Y a todas las personas que me brindaron su ayuda y su aliento.

Este logro es producto del esfuerzo y la dedicación de muchas personas. A todos ellos, les dedico mi más sincero agradecimiento. Este trabajo es un reflejo de su apoyo y de su confianza en mí. Gracias a todos por ser parte de este camino.

Quilver Alexis Celi Galvan

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dirigido especialmente a mi Madre, quien siempre estuvo conmigo en malos y buenos momentos a lo largo de mi carrera estudiantil, esforzándose mucho para poder brindarme las mejores oportunidades en la educación, también con una enorme gratitud a mi padre que ya no está en esta vida, pero siempre está presente sus buenos consejos que siempre me alentaron para seguir adelante.

A mis hermanos, les agradezco por el apoyo condicional que siempre tuvieron conmigo y darme la fortaleza e inspiración de poder forjarme como profesional.

Finalmente, a mi compañero de titulación por la ayuda que me brindó en todo momento para poder llevar a cabo este proyecto de investigación.

Luis Miguel León Peralta

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todas las personas que estuvieron conmigo en mi carrera universitaria y a mis demás familiares, quienes en alguna parte en mi vida me han brindado su apoyo y consejo.

A mi tutor de tesis, el Ing. Luis Ordoñez, quien a través de su formación supo guiarme por el camino correcto en poder culminar con éxito el presente trabajo de titulación.

Luis Miguel León Peralta

RESUMEN

El presente proyecto de investigación está enfocado en “La evaluación de la respuesta sísmica para la rehabilitación estructural del edificio bloque 4 del campus Machala”, con el fin de determinar la intervención estructural adecuado para cumplir niveles de desempeño en caso de un evento sísmico. La edificación está compuesta por losas planas, vigas banda y columnas, y los pórticos de hormigón armado están rellenos con mampostería de bloque no reforzado. Se realizó un levantamiento de campo y análisis del edificio para definir sus características y determinar el comportamiento de la estructura.

Se utilizó la norma ASCE 41-17 (Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings) para analizar los elementos y se realizará un análisis no lineal estático o dinámico que permite la respuesta del sistema estructural. Debido a que la mampostería interactúa en el sistema resistente de la estructura, se utilizó para el análisis una representación del método tipo punta diagonal que sirve para simular su comportamiento y obtener la capacidad global, local del sistema en cada dirección de análisis.

Finalmente, se propone la mejor alternativa en la intervención dentro de los datos disponibles considerando aspectos técnicos y funcionales, que permitan mejorar el desempeño de la estructura y minimizar la intervención. Este proyecto no solo busca proponer la alternativa de reforzamiento más adecuado para el edificio en estudio, sino también servir como guía de referencia para la intervención de construcciones con características similares, minimizando su vulnerabilidad sísmica y evitando su posible demolición.

Palabras claves: análisis estructural, análisis no lineal, mampostería, Pushover, reforzamiento, Curvas de capacidad.

ABSTRACT

The present research project is focused on "The evaluation of the seismic response for the structural rehabilitation of the building block 4 of the Machala campus", in order to determine the adequate structural intervention to meet performance levels in case of a seismic event. The building is composed of flat slabs, band beams and columns, and the reinforced concrete frames are filled with unreinforced block masonry. A field survey and analysis of the building was carried out to define its characteristics and determine the behavior of the structure.

ASCE 41-17 (Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings) standard was used to analyze the elements and a nonlinear static or dynamic analysis will be performed to allow the response of the structural system. Since the masonry interacts in the resistant system of the structure, a representation of the diagonal point method was used for the analysis to simulate its behavior and obtain the global and local capacity of the system in each direction of analysis.

Finally, the best alternative for the intervention is proposed within the available data, considering technical and functional aspects, in order to improve the performance of the structure and minimize the intervention. This project not only seeks to propose the most adequate strengthening alternative for the building under study, but also to serve as a reference guide for the intervention of buildings with similar characteristics, minimizing their seismic vulnerability and avoiding their possible demolition.

Keywords: Keywords: structural analysis, nonlinear analysis, masonry, Pushover, reinforcement, capacity curves.

INTRODUCCIÓN

La presencia de sismos es cada vez mayor debido a que se están liberando grandes fuerzas conforme al rozamiento de los límites de las placas de las zonas de subducción, anteriormente se habían experimentado grandes terremotos registrados por la sismología (Ye et al., 2016). Los centros educativos construidos en distintos países han sido objeto de análisis, investigaciones y estrategias dirigidas a mitigar su vulnerabilidad y riesgo sísmico, adecuado a su importancia social en la educación diaria (Coronel & López, 2013).

Uno de los grandes desafíos que presenta los ingenieros civiles en la construcción son los eventos sísmicos, por lo tanto, este proyecto busca proponer un mejoramiento estructural que garantice la seguridad y la serviciabilidad técnica de la edificación. El edificio de estudio que se encuentra en el bloque 4 de la Universidad Técnica de Machala está con acceso restringido por la inestabilidad de la estructura, tales como: columnas rotas, fisuras evidentes en las vigas, losas que vibran y sistemas no estructurales que están con daños, conforme a los problemas registrados anteriormente el edificio tiene un proceso de estudio bastante minucioso, que está en busca de dar una solución para que la edificación a futuro sea operativa.

Entonces, comenzaremos con el primer capítulo en donde se detallará todos los antecedentes, y la descripción de la situación de la problemática, además señalará los objetivos, el alcance y la justificación del mismo. En el capítulo 2 se describirá el Marco teórico que es una recopilación bibliográfica de diferentes sitios webs confiables, en el cual se detalla los antecedentes contextuales, referenciales y conceptuales.

1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes:

En el Ecuador se han producido sismos de gran magnitud que han provocado daños considerables a la población e infraestructura del país, lo cual ha causado víctimas mortales y pérdidas económicas. El último sismo a gran escala se registró el 16 de abril del 2016, de magnitud Mw 7.8, y afectó fundamentalmente a la provincia de Manabí y el sur de Esmeraldas. Estos eventos sísmicos llegan a ser más catastróficos, debido a que afectan la calidad estructural de las construcciones, y en posibles réplicas o eventos futuros estos llegan a colapsar, en otras palabras, los terremotos revelan condiciones de vulnerabilidad que existían antes del evento natural. Así mismo, la ciudad de Machala, provincia del Oro está en una zona con alta actividad sísmica, debido a que está en la costa del Ecuador donde existe la presencia de subducción de dos placas tectónicas. (Peligro Sísmico - Instituto Geofísico - EPN, 2016).

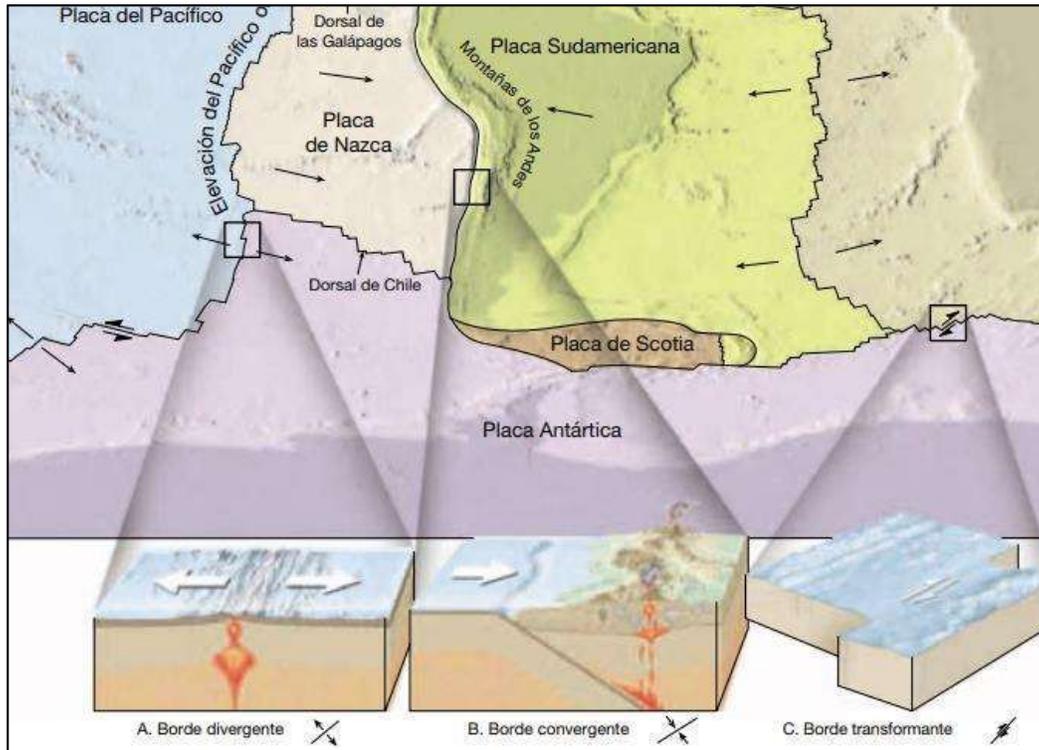
En los últimos años, se han realizado estudios para evaluar el riesgo sísmico de la ciudad y buscar alternativas viables para prevenir desastres y proteger a la población. (Chunga, Ochoa-Cornejo, Maurizio Mulas, Theofilos Toulkeridis, & Menéndez, 2018). En el territorio nacional del Ecuador a lo largo de los años ha experimentado varios eventos sísmicos, y uno de los más representativos podemos mencionar el de Esmeraldas que ocurrió el 31 de enero de 1906 con un sismo de magnitud (Mw) 8.8 con epicentro en el Océano Pacífico y frente a la frontera Ecuador-Colombia.

1.1.1 Teoría de las Placas tectónicas

La tectónica de placas fue un gran paradigma que durante mucho tiempo no fue aceptada como una teoría, uno de los principales impulsores de la teoría fue Alfred Wegener que recolectó varias evidencias que respaldaban la deriva continental, pero su viaje concluyó en 1930, y no sería después a finales de los años setenta donde por fin se tomaría ya como concepto de tectónica de placas. Se puede definir que la tectónica de placas es una teoría que incluye una serie de ideas que explican el movimiento observado de la capa exterior a través de los mecanismos de subducción y expansión del fondo oceánico, dando lugar a las principales características geológicas de la Tierra, incluidos continentes, montañas y cuencas oceánicas (Pozo Rodríguez et al., 2004).

Figura 1

Mapa de los bordes de las placas tectónicas



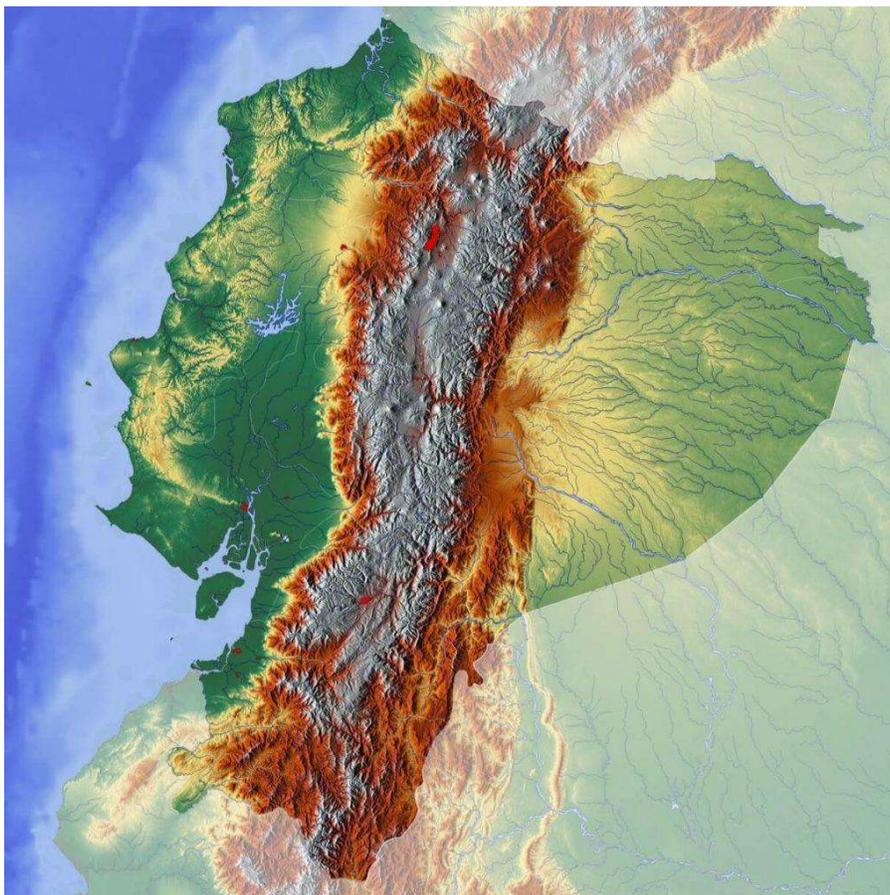
Fuente: Imagen obtenida del libro Geología Práctica: Introducción a reconocimiento de materiales y análisis de mapas

1.1.2 Ubicación geográfica del Ecuador

Debido a su ubicación geográfica ($1^{\circ}20'N$ y $5^{\circ}S$), el Ecuador se caracteriza por una variedad de climas y microclimas, creando áreas con altos niveles de biodiversidad. Se caracteriza por una alta diversidad climática, biológica y étnica, donde los ecosistemas están fuertemente influenciados por los cambios climáticos anuales, así como la influencia de factores topográficos. El área presenta varias características topográficas, ya que los Andes están sujetos a grandes variaciones de elevación, constituye una barrera climática que afecta tres zonas naturales principales de la región: la región costera, región Sierra y la región Amazónica (Urgiles Gómez & Ramiro Santin, 2015)

Figura 2

Mapa topográfico del Ecuador



Fuente: Extraído de la pagina “Mundo Mapa” “ <https://mundomapa.com/mapa-de-ecuador/>”

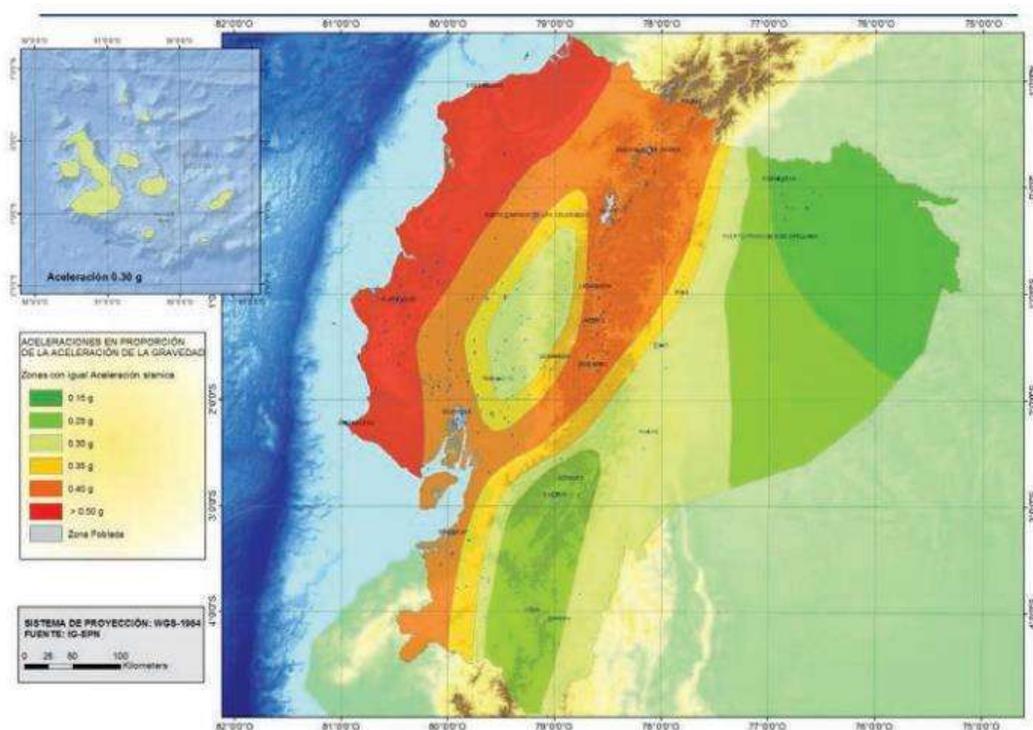
1.1.3 Zonificación Sísmica en el Ecuador

A pesar de ser un proceso subjetivo, es determinantes establecer que la delimitación de cada área incide significativamente en la evaluación de riesgos, ya que respecto al potencial sísmico máximo de cada terremoto registrado y las leyes de recurrencia que controla su sismicidad, su delimitación estimará esos valores.

La aceleración máxima de la roca anticipada en un terremoto de diseño está representada por el valor z , que se expresa como un porcentaje de la aceleración causada por la gravedad.

Figura 3:

Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y el valor del factor de zona z.



Fuente: NEC_SE_DS, Peligro sísmico, NEC 1

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI (NEC, 2015).

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica, el cual se indica en la figura 2.2, el territorio del Ecuador se encuentra dividido en seis zonas sísmicas, donde cada zona tiene su propio valor del factor de zona Z, (Villalba, 2015).

Entre las principales consideraciones para la elaboración de este mapa están:

- Principal fuente de energía sísmica la subducción de la placa de Nazca
- Estudio de principales eventos históricos
- Uniformidad del peligro y practicidad del diseño
- Protección de ciudades importantes
- Compatibilidad con normativas sísmicas en países vecinos.

Tabla 1:

Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC_SE_DS, Peligro Sísmico, NEC- I

Para facilitar el proceso de identificación del valor Z con una ubicación determinada. La NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) incluye una tabla con ubicaciones ordenadas según población- parroquia – cantón – provincia.

1.1.4 Patologías estructurales

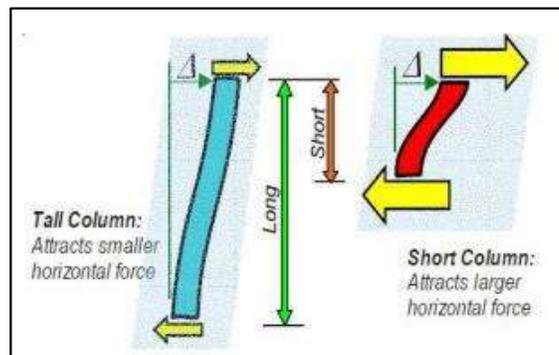
Las patologías o anomalías estructurales son los problemas que afectan a la integridad de una estructura. Podemos encontrar patologías que se dan por defectos que están causadas por un mal diseño, las patologías por daños que son causados por fenómenos naturales como los sismos, y patologías por deterioro que se dan por la vida útil de la estructura (Corte & Perilla, 2017).

1.1.4.1 Columnas cortas

Las columnas cortas son elementos estructurales verticales que tienen una relación desfavorable entre longitud y sección transversal. Esto puede generar cargas de compresión más altas y una capacidad de carga reducida, lo que aumenta el riesgo de falla debido a la inestabilidad o fractura. También se puede dar cuando la deformación y tensión se dan en porciones libres (Ojeda & Colorado, 2021).

Figura 4

Diferencia entre columnas cortas y larga



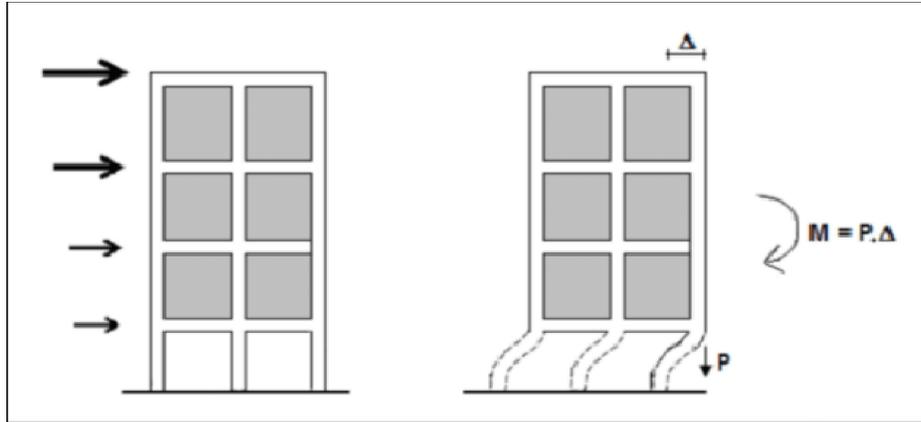
Fuente: Imagen tomada de” <https://theconstructor.org/structural-engg/short-column-effect-multi-storey-buildings/25271/>”

1.1.4.2 Piso blando o débil

El piso blando se genera cuando cuenta con un entrepiso en el cual su estructura carece de rigidez necesaria para soportar las cargas y deformaciones esperadas. Esto puede provocar hundimientos, vibraciones excesivas o deformaciones inaceptables en el piso (Páez et al., 2017).

Figura 5

Efectos de piso blando



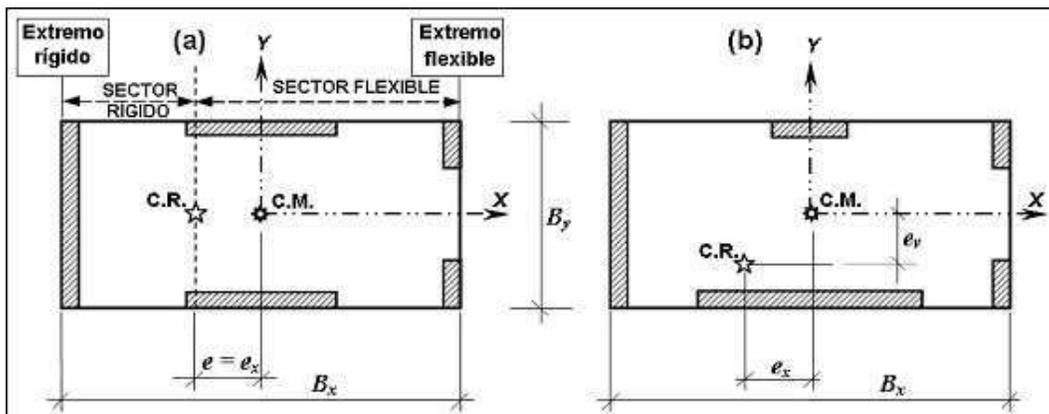
Fuente: Imagen tomada en https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Efecto-sobre-piso-blando_fig4_316940170

1.1.4.3 Torsión en plantas

La torsión en plantas se refiere a la deformación torsional o de giro que afecta a una estructura, especialmente en sus plantas o niveles. Esto puede deberse a irregularidades en la distribución de masas o a una rigidez menor a los pisos superiores en la estructura, lo que puede comprometer su estabilidad (Corte & Perilla, 2017).

Figura 6

a) Planta uni-simétrica b) Planta bi-asimétrica



Fuente: Imagen extraída de Confiabilidad del Método de la Torsión Estática de la Norma Sismorresistente Venezolana - Científica Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Modelos-del-sistema-estructural-a-planta-uni-asimetrica-b-planta_fig1_262499270 [accessed 15 Oct, 2023]

1.1.4.4 Humedad

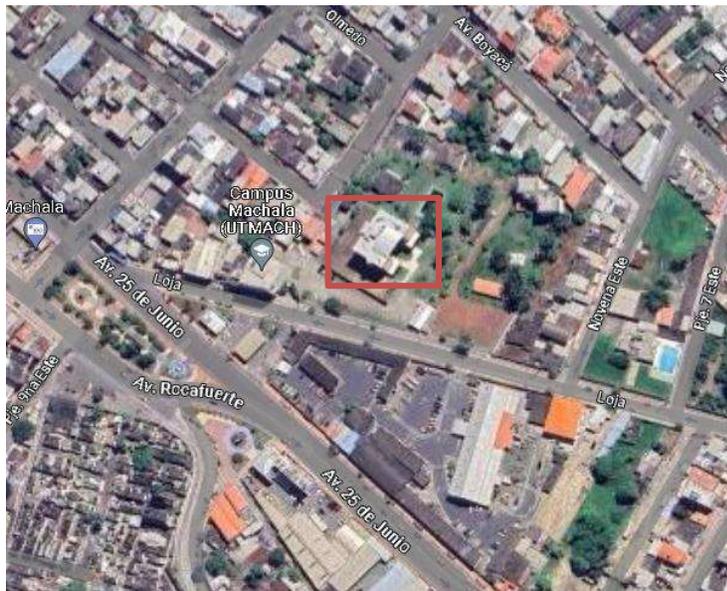
La humedad en una estructura puede causar una serie de problemas, como la degradación de materiales, la corrosión de refuerzos de acero, la pérdida de resistencia de materiales, la proliferación de moho y la reducción de la durabilidad de la estructura.

1.1.5 Ubicación:

En la Universidad Técnica de Machala, en el Bloque 4 está ubicado el edificio que corresponde a una estructura de 6 pisos, esta edificación se encuentra en la provincia de EL ORO de la ciudad de Machala, con las coordenadas $3^{\circ}15'53.7''S$ y $79^{\circ}57'03.3''W$.

Figura 7

Universidad Técnica de Machala-Bloque 4



Fuente: Google maps

El edificio sufrió daños a raíz del sismo del 18 de marzo del 2023, que tuvo una magnitud de 6.8 (MLy) (“Informes de Los Últimos Sismos - Instituto Geofísico - EPN,” 2023), Como resultado, la edificación quedó en mal estado, lo que obligó a estudiantes y profesores a reubicarse y fue cerrado hasta un nuevo aviso.

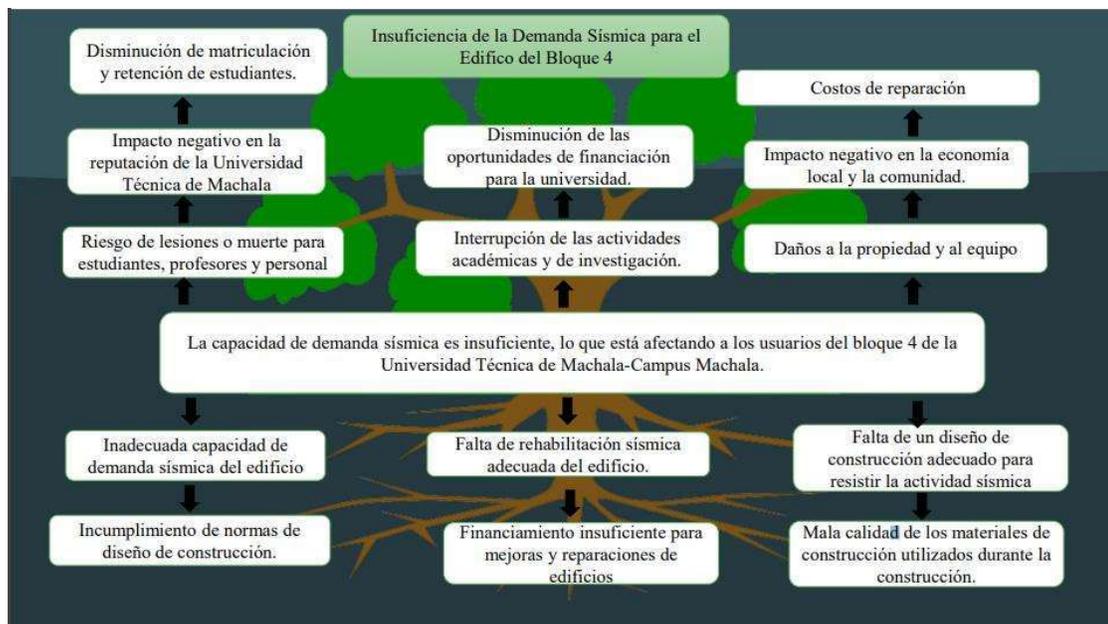
1.2 Descripción de la situación problemática:

El edificio presenta daños en la estructura, por lo cual no puede estar en operación ya que el estado del edificio pasó a uso restringido. La comunidad universitaria tiene ciertos percances ya que no pueden cumplir su función y esperan una posible solución, y es por eso que se hará un análisis lineal y no lineal para estudiar el comportamiento estructural. A continuación, se describen algunas de las causas y efectos que contribuyen a la problemática:

- Es aparente que el edificio tuvo limitaciones de diseño estructural, que pueda hacerle frente a diferentes niveles de amenaza, por lo tanto, se requiere elaborar un modelo lineal y no lineal tridimensional mediante un software comercial para una rehabilitación a futuro.
- El incumplimiento de las normas de diseño de construcción puede llevar a tener daños estructurales y no estructurales, ocasionando pérdidas económicas y servicios de la comunidad.
- El diseño frágil de un edificio provoca un daño esperado ante alguna amenaza, que por lo general depende de la capacidad de la estructura para que no haya daños considerables en la edificación.

Figura 8

Árbol de problemas



Fuente: Elaboración Propia

1.3 Formulación del problema:

- ¿Cuáles son las metodologías a utilizar para evaluar el edificio del bloque 4 del campus Machala ante la respuesta sísmica?

De acuerdo al ASCE 41-17 para edificios regulares de pocos pisos se puede utilizar el:

- Análisis lineal estático (LSP)
- Análisis no lineal estático (NSP)

Y para edificio irregulares o para cualquier tipo de edificación con número infinito de pisos se utiliza:

- Análisis lineal dinámico (LSP)
- Análisis no lineal dinámico (NSP)

- ¿Cómo se puede mejorar la construcción de edificios para hacerlos más resistentes a la respuesta sísmica?

- Uso de materiales y técnicas de construcción más resistentes: Puede ayudar a mejorar la resistencia sísmica del edificio.
- Diseño de estructuras más dúctiles: Las estructuras más dúctiles son más capaces de absorber la energía de un terremoto sin colapsar.
- Incorporación de sistemas de disipación de energía: Los sistemas de disipación de energía ayudan a reducir las fuerzas sísmicas que actúan sobre el edificio.

- ¿Qué tecnologías se pueden utilizar para monitorear la respuesta sísmica de los edificios y detectar fallas estructurales?

- Sensores sísmicos: Los sensores sísmicos permiten medir la respuesta sísmica del edificio.
- Sistemas de análisis estructural: Los sistemas de análisis estructural permiten evaluar la resistencia sísmica del edificio a partir de los datos de los sensores sísmicos.

1.4 Alcance del Proyecto

En este proyecto de investigación tiene consigo realizar un análisis de la respuesta sísmica del edificio del bloque 4 del campus Machala, que presentó problemas estructurales. Para

ello, se utilizará el software comercial en el diseño del modelamiento lineal y no lineal tridimensional de la estructura. Los resultados esperados del diseño permitirán identificar las fallas que componen la edificación y proponer un mejoramiento que promueva el reforzamiento estructural del edificio.

El proyecto de titulación se enfocará en la evaluación de la resistencia sísmica de la edificación y en la identificación de las medidas de mitigación necesarias para prevenir fallas estructurales. Se espera que los resultados del proyecto sean útiles para la comunidad universitaria y para la sociedad en general, ya que contribuirán a mejorar la seguridad y la calidad de las construcciones en zonas sísmicas.

1.5 Justificación

Debido a que se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, Ecuador es uno de los países con más actividad sísmica en Sudamérica. La acumulación de energía producida por este proceso de subducción se libera periódicamente en forma de terremotos imprevisibles a profundidades de 5 y 40 km en la zona de fricción. Estas descargas de tensión también pueden desencadenar sismos a lo largo de las fallas de la corteza terrestre o incluso en la placa oceánica subducida a 50 - 200 km de profundidad (Beauval, 2021). Es por eso que, en el Ecuador, especialmente en las ciudades con mayor población, existen estructuras calificadas como vulnerables con patologías estructurales que no han sido evaluadas.

Este proyecto de titulación fue propuesto con la finalidad de determinar la capacidad de una estructura para soportar una combinación de cargas con el motivo de mejorar el comportamiento estructural frente al evento sísmico, y con ello determinar si la edificación requiere algún elemento adicional que aporte rigidez y resistencia. Además, que servirá como una ayuda para complementar los conocimientos recibidos en el transcurso de nuestra formación académica. A continuación, se hará una investigación exhaustiva que nos permita definir algún dato extraído del software comercial.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General:

Analizar la respuesta sísmica mediante un modelo estático lineal y no lineal para identificar la capacidad estructural y sísmica del edificio del bloque 4 del Campus Machala.

1.6.2 Objetivos Específicos:

- Elaborar modelos lineales y no lineales tridimensionales mediante un software de análisis estructural y dimensionamiento de edificio para el bloque 4 del Campus Machala.
- Identificar las condiciones estructurales y no estructurales mediante un relevamiento planimétrico y altimétrico del edificio del bloque 4 para la elaboración de un modelo comparativo del comportamiento de la respuesta sísmica.
- Presentar el modelo tridimensional mediante la descripción de la propuesta de reforzamiento idónea según el nivel de desempeño establecido para el edificio sujeto a estudio.

2. CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes Contextuales

La seguridad estructural en proyectos de ingeniería es una creciente preocupación en las edificaciones, por lo que es esencial considerar los parámetros y restricciones claves en las regulaciones de Ecuador y para las diversas zonas geográficas del Pacífico sur de América del Sur. Estas regulaciones abarcan una amplia variedad de fuentes sísmicas y se aplican en áreas costeras, de tierras altas y selva, especialmente en la región sur de Perú, donde se están desarrollando proyectos modernos de edificios de altura medias (Alvarado Mamani & Aguilar Chuquimia, 2023).

Ecuador se encuentra en una región geográfica conocida como el "Cinturón de Fuego del Pacífico", que es una zona de alta actividad sísmica y volcánica en la cuenca del océano Pacífico; debido a esto, esta área es propensa a la actividad tectónica lo que resulta en terremotos y erupciones volcánicas frecuentes (Bungacho et al., 2022). El país ha sido afectado por terremotos de gran magnitud en el pasado, incluyendo el terremoto de 1797, que tuvo una magnitud de 8.3 y causó la muerte de más de 12.000 personas.

La ciudad de Machala, ubicada en la costa sur de Ecuador, es una zona de alta vulnerabilidad sísmica. La ciudad se encuentra en una zona de subducción, donde la placa de Nazca se subduce bajo la placa sudamericana. Esta actividad tectónica es la causa de los frecuentes terremotos que se registran en la zona. En los últimos años, Machala ha sido afectada por varios terremotos de magnitud moderada. En 2016, un terremoto de magnitud 7.8 sacudió la ciudad, causando daños en varios edificios y viviendas, otro sismo registrado es en el 2023, con una magnitud de 6.6 que causó daños adicionales en la ciudad, incluido la edificación del bloque 4 del centro de extensión de la UTMACH. Los daños causados por el terremoto del 2023 de la edificación correspondiente al bloque 4 del centro de extensión de la UTMACH se debieron a varios factores, incluyendo: la ubicación geográfica tiene gran vulnerabilidad sísmica, la construcción del edificio que no cumplía con las normas de construcción sísmica vigentes.

La edificación del bloque 4 de la Universidad Técnica de Machala sufrió daños estructurales importantes como consecuencia del terremoto del 18 de marzo de 2023. El edificio sufrió grietas en las paredes y los techos, y se desplomó una parte de la fachada, además provocó daños en las aulas, laboratorios y oficinas del edificio.

Como consecuencia del terremoto, el bloque 4 fue declarado inhabilitado para su uso. Los estudiantes y profesores de la Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas de la Utmach tuvieron que trasladarse a otros edificios del campus universitario.

2.2 Antecedentes referenciales o históricos

Varios estudios han demostrado que los edificios en Ecuador son vulnerables a los terremotos, debido a la mala calidad de la construcción y a la falta de códigos sísmicos estrictos. En el trabajo de Adrián et al (2023) se presentó un modelo no lineal de plasticidad concentrada en edificios. Los análisis no lineales “Pushover” muestran que las edificaciones de poca altura tienen baja ductilidad promedio (3.61), mientras que las edificaciones intermedias tienen una ductilidad promedio de 4.43 y las edificaciones altas alcanzan una ductilidad promedio de 6.95. En otras palabras, las edificaciones bajas tienen alta sobre resistencia, pero poca ductilidad, mientras que las edificaciones altas tienen mayor ductilidad, pero menor sobre resistencia.

Un estudio de la Universidad de Cuenca encontró que el 70% de los edificios en Ecuador no cumplen con los códigos sísmicos, además también se encontró que el 50% de los edificios no están contruidos con materiales de baja calidad, como ladrillos y madera.

En el trabajo de Cunalata & Caiza (2022) presentan algunas metodologías para determinar la vulnerabilidad sísmica. Utilizaron el método de inspección visual del FEMA P-154 en una parroquia de un cantón que se consideraba vulnerable en la costa ecuatoriana. Se determinó que el 70% de estas casas ha experimentado modificaciones después de su construcción original, y todas fueron construidas en suelos de Tipo E antes de que se aplicaran las normativas técnicas actualizadas. Esto sugiere que las edificaciones no se construyeron siguiendo criterios técnicos actualizados y que las casas en esta zona enfrentan un riesgo significativo en caso de un terremoto.

Por parte de Ajila Zari (2015) en su trabajo de posgrado realizado en la Universidad Politécnica Nacional, llevo un análisis con el software SAP2000 versión 12.0 para calcular el porcentaje de acero requerido en los componentes estructurales preexistentes, asegurando su cumplimiento con las normativas aplicables. Determinó que las derivas de entrepisos obtuvieron valores de 0.015, lo cual está dentro del rango permitido por las normas NEC 2015 de 0.002 para estructuras de hormigón armado.

Otro estudio, realizado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), encontró que el 80% de los edificios en Ecuador no están preparados para un terremoto de magnitud 7.0. El estudio también encontró que el 60% de los edificios en Ecuador no tienen un plan de emergencia para terremotos. Los edificios de cinco pisos son particularmente vulnerables a los terremotos, debido a su altura y a su estructura.

Un estudio realizado por la Universidad de California en Berkeley, publicado en 2017, encontró que los edificios de cuatro pisos son 20 veces más propensos a colapsar en un terremoto que los edificios de un piso. El estudio también encontró que los edificios de cuatro pisos son más propensos a sufrir daños estructurales en un terremoto.

Otro estudio, realizado por la Universidad de Stanford, publicado en 2020, encontró que los edificios de cuatro pisos tienen más probabilidades de sufrir daños en los elementos no estructurales, como las ventanas y las puertas. El estudio también encontró que los

edificios de cuatro pisos son más propensos a sufrir daños en los sistemas de servicios públicos, como el agua, la electricidad y el gas. Además de los antecedentes mencionados anteriormente, es importante considerar los siguientes factores:

Tabla 2

Factores que aumentan la probabilidad de daños estructurales

La magnitud del terremoto	La magnitud del terremoto es un factor importante que determina la intensidad de los daños. El terremoto del 18 de marzo del 2023 tuvo una magnitud momento (Mw) de 6.8, que es una magnitud considerable.
La profundidad del terremoto	La profundidad del terremoto también es un factor importante. Los terremotos que ocurren cerca de la superficie causan más daños que los terremotos que ocurren a mayor profundidad. El terremoto del 18 de marzo del 2023 tuvo una profundidad de 65.9 kilómetros, que es una profundidad relativamente superficial.
La distancia del epicentro	La distancia del epicentro también es un factor importante. Los terremotos que ocurren cerca de un área poblada causan más daños que los terremotos que ocurren en áreas remotas. El terremoto del 18 de marzo de 2023 tuvo su epicentro en el extremo nor-oriental de la Isla Puná en el Golfo de Guayaquil, que es una distancia relativamente cercana

2.3 Antecedentes conceptuales:

2.3.1 Principios de la sismorresistencia

La sismorresistencia es un conjunto de principios y técnicas que se utilizan en la construcción de edificios y estructuras para resistir los efectos de los terremotos. Según (BLANCO, 2023), los criterios fundamentales para el diseño sismorresistente incluyen la elección de materiales adecuados, la correcta ubicación de las estructuras, la resistencia a la carga sísmica y la capacidad de deformación.

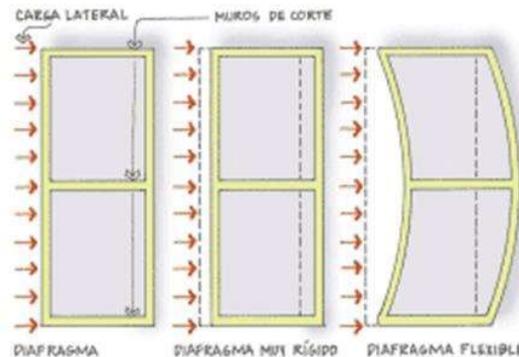
Los principios de la sismorresistencia son fundamentales para garantizar la seguridad de las edificaciones en caso de terremotos. Según un artículo de SIO Ingeniería (Artedínamico, 2015), estos principios son:

- **Mayor Rigidez:** Es deseable que la estructura se deforme poco cuando se mueve ante la acción de un sismo. Una estructura flexible o poco sólida al deformarse exageradamente favorece que se presenten daños en paredes o divisiones no

estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones.

Figura 9

Diafragma de resistencia a carga laterales



Fuente: Imagen tomada en <https://www.arquba.com/curso-construccion-sismo-resistente-cana-bambu/requisitos-generales/>

- **Suelo firme y buena cimentación:** La cimentación debe ser competente para transmitir con seguridad el peso de la edificación al suelo. También, es deseable que el material del suelo sea duro y resistente. Los suelos blandos amplifican las ondas sísmicas y facilitan asentamientos nocivos en la cimentación que pueden afectar la estructura y facilitar el daño en caso de sismo.
- **Materiales competentes:** Los materiales deben ser de buena calidad para garantizar una adecuada resistencia y capacidad de la estructura para absorber y disipar la energía que el sismo le otorga a la edificación cuando se sacude. Materiales frágiles, poco resistentes, con discontinuidades se rompen fácilmente ante la acción de un terremoto.

Otro principal fundamento es la calidad en la construcción, un artículo del Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba (Ingrid Noelia Vidaud-Quintana et al., 2019) destaca la importancia del control de calidad en la ejecución de estructuras de hormigón armado emplazadas en zonas de elevado peligro sísmico. La cantidad y calidad del cemento en la mezcla suele ser un factor importante en el logro de la resistencia a los esfuerzos mecánicos y la durabilidad (Ingrid Noelia Vidaud-Quintana et al., 2019).

Figura 10

Daños durante el sismo de Haití en enero 2010



Fuente: Imagen extraída en <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358738016/html/>

2.3.2 Sísmicos

2.3.2.1 Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas se clasifican en ondas internas y ondas superficiales. Las ondas internas son aquellas que viajan desde el origen del sismo hasta la superficie terrestre y se dividen en ondas P y ondas S. Las ondas superficiales, por su parte, son aquellas que viajan por la superficie de la Tierra, que a su vez se dividen en ondas Rayleigh y ondas Love (Otero, 2017).

Tabla 3

Clasificación de las Ondas Sísmicas

Ondas P	Se trata de la primera onda interna que alcanza la superficie terrestre y se caracteriza por tener una velocidad de propagación de aproximadamente 7.5 kilómetros por segundo, lo que las hace 1.7 veces más rápidas que las ondas S. Estas ondas se extienden y se desplazan, provocando que el material en el que se propagan vibre en la misma dirección que la dirección de su propagación.
Ondas S	Esta es la segunda onda interna que alcanza la superficie, y suele caracterizarse por moverse a una velocidad de aproximadamente 4.2 kilómetros por segundo. Estas ondas son de tipo transversal, lo que significa que se propagan generando movimientos perpendiculares a la dirección de su propagación en el material a través del cual se desplazan.
Ondas Rayleigh	Estas ondas, que también son llamadas ondas superficiales, inducen un movimiento elíptico en sentido contrario. Tienen una velocidad de propagación más lenta en comparación con las ondas internas y se desplazan a aproximadamente el 90% de la velocidad de las ondas S.

Ondas Love	Se trata de ondas superficiales que generan un desplazamiento lateral en la superficie, y su velocidad es un poco más alta que la de las ondas de Rayleigh.
-------------------	---

2.3.2.2 Vulnerabilidad Sísmica

Se puede definir como una medida de la incapacidad de una estructura dada para resistir las acciones sísmicas. En los métodos modernos de evaluación, la vulnerabilidad sísmica se representa mediante curvas de diseño que expresan la vulnerabilidad física como función de la intensidad del proceso y el grado de pérdida. Solo se consideran algunas características estructurales de los edificios afectados para casos individuales (Stepinac et al., 2020). Después de identificar las debilidades en la estructura, se toma acción mediante un refuerzo estructural. Se prioriza que este refuerzo sea rentable y efectivo, siguiendo las pautas establecidas en la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC (Farinango et al., 2022).

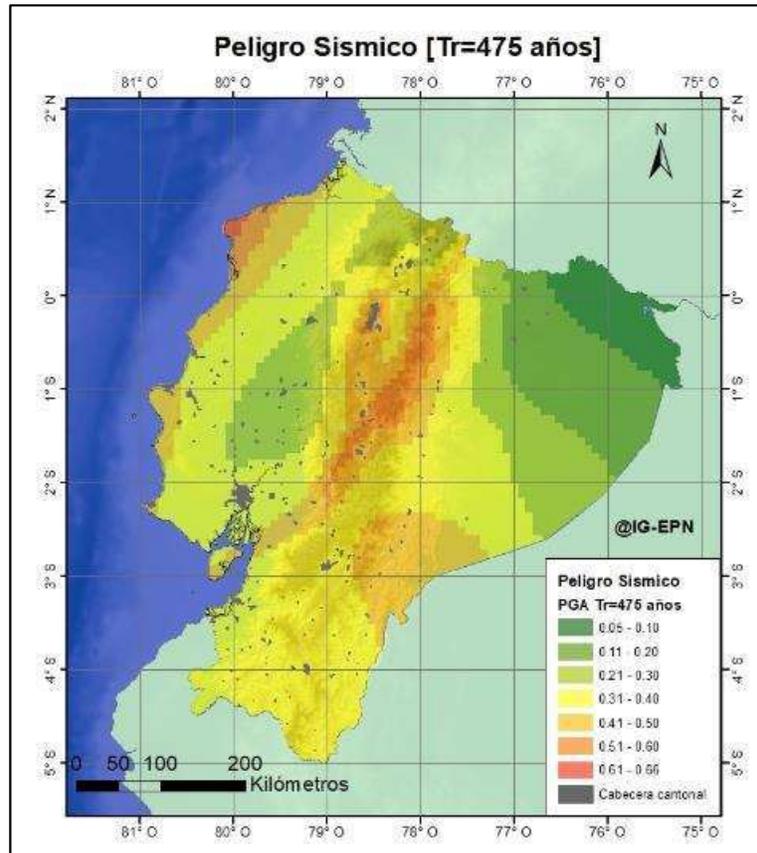
Cabe destacar que la vulnerabilidad de los edificios a la actividad sísmica surge del hecho de que su sistema estructural global que es la "gravedad", en el que las fuerzas externas actúan sobre ellas mecánicamente, estas se transmiten como esfuerzos compresivos excéntricos a elementos verticales (De La Torre Rangel et al., 2004). La vulnerabilidad no se limita a los posibles daños materiales o físicos a las estructuras, sino que también abarca problemas posteriores a un terremoto, como fragilidades sociales, falta de organización comunitaria, inestabilidad política, impacto económico, insuficiente preparación para emergencias y la falta de capacidad de recuperación en comunidades propensas a estos eventos (Cárdenas Ortega & Ruilova Pesantez, 2022).

2.3.2.3 Peligrosidad sísmica

Es un concepto fundamental en la evaluación de riesgos geológicos y sísmicos. Se refiere a la probabilidad estadística de que ocurra un terremoto de cierta magnitud en un área geográfica determinada durante un período de tiempo específico (Perepérez, 2014). Esta evaluación es esencial para reducir la vulnerabilidad de las estructuras ante un eventual sismo (Lascarro et al., 2020). Esto permite a los expertos y planificadores tomar decisiones informadas sobre la construcción de infraestructuras resistentes y la implementación de medidas de mitigación en áreas propensas a tales eventos (NEC-SE-DS, 2015).

Figura 11

Mapa de peligrosidad Sísmica del Ecuador



Fuente: <https://www.igepn.edu.ec/peligro-sismico>

2.3.2.4 Resiliencia Sísmica

La resiliencia engloba diversas definiciones, pero en términos generales, se puede describir como la capacidad de las unidades sociales para reducir los riesgos, absorber y minimizar las consecuencias producido por un evento catastrófico, y llevar a cabo actividades de recuperación de manera que se reduzca al mínimo la interrupción social y se atenúen los efectos de futuros terremotos. En esencia, la resiliencia se enfoca en conservar y restablecer la funcionalidad asociada al desempeño de las estructuras, medida en función del tiempo necesario para volver a alcanzar su funcionalidad previamente establecida. Cuatro dimensiones contribuyen a fortalecer la resiliencia: rapidez, robustez, redundancia y adaptabilidad (Prasanth & Ghosh, 2021).

Tabla 4

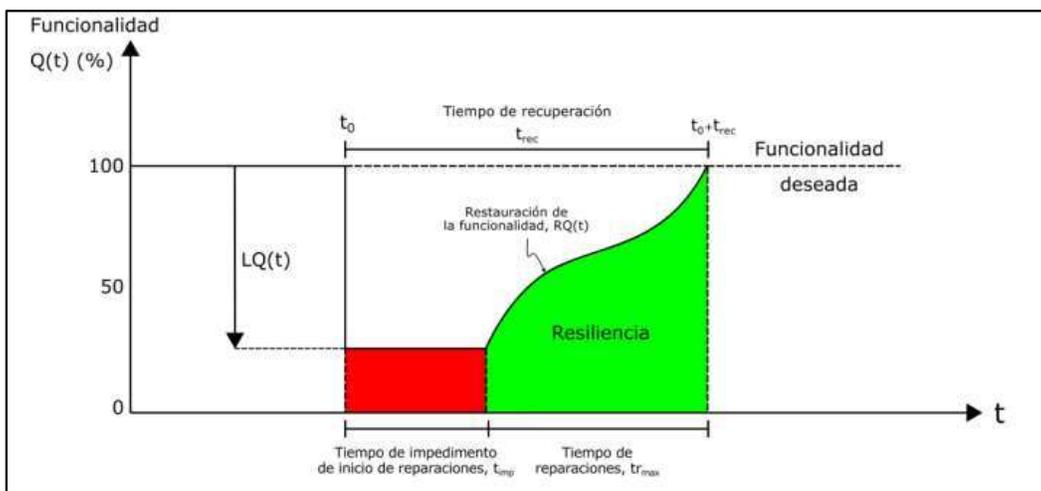
Factores que fortalece la resiliencia

Rapidez	La capacidad del sistema estructural para contener las pérdidas de manera oportuna según las prioridades.
Robustez	La capacidad del sistema estructural para resistir los niveles requeridos de esfuerzos con menos degradación.
Redundancia	La disponibilidad de rutas alternativas en el sistema estructural para resistir y transferir las fuerzas laterales y así mantener su estabilidad, evitando el colapso completo del sistema.
Adaptabilidad	Se refiere a la capacidad de poner en marcha recursos en el momento que se necesitan, considerando las prioridades establecidas. Esta capacidad depende en gran medida de las destrezas humanas, lo que hace que sea más complicado medirla con precisión.

Evaluar la resiliencia sísmica de un edificio implicó la realización de un análisis dinámico incremental utilizando 22 estudios de movimientos sísmicos. En este análisis, se emplearon curvas de vulnerabilidad para estimar las pérdidas y determinar la resiliencia. Los resultados revelaron una precisión satisfactoria en comparación con la utilización de curvas de fragilidad para evaluar las pérdidas (Prasanth & Ghosh, 2021).

Figura 12

Recuperación de un sistema con respecto al tiempo



Fuente: Extraído de <http://www.alianzafidem.org/pdfs/Foro-normalizacion-2019/3-2-Gustavo-AYALA-PANEL-3.pdf>

2.3.3 Cargas Gravitacionales

2.3.3.1 Cargas vivas

Las cargas vivas se refieren a las fuerzas que están relacionadas con el uso de la estructura en cuestión y que no mantienen una posición constante en ella (Rivera Castro, 2021). Estos se componen de las cargas generadas por individuos, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, productos en tránsito y otros elementos afines (NEC-SE-CG, 2015).

Tabla 5

Valores de cargas por parte de NEC-SE-CG (2015)

Tipo de edificación	Carga viva (kN/m ²)
Residencial	2,00
Oficina	2,40
Hospital	2,9
Hoteles	2,90
Unidades Educativas	4,80

Fuente: Vistos en Cagua Gómez *et al* (2022).

2.3.3.2. Cargas muertas

Las cargas muertas se definen como la estimación del peso de todos los elementos, tanto estructurales como no estructurales, incluyendo el peso adicional debido a las cargas de diseño especificadas en los códigos aplicables, así como cualquier componente que forme parte permanente de la estructura. Estas cargas pueden manifestarse como distribuciones uniformes de peso sobre las áreas de construcción, cargas lineales (como muros), y cargas puntuales (Rivera Castro, 2021).

2.4. Controles a cumplir en la estructura

Los controles a cumplir en una estructura se refieren a las regulaciones, estándares, y normativas que deben ser seguidos y aplicados durante el diseño, construcción y mantenimiento de la estructura. Estos controles están destinados a garantizar la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la estructura, así como a asegurar que cumpla con los requisitos legales y las mejores prácticas de ingeniería y construcción, a continuación, se detalla alguno de ellos:

Tabla 6

Controles estructurales

Derivas piso	Las derivas de piso en una estructura se refieren a las deformaciones horizontales relativas entre los distintos niveles o pisos de un edificio durante un evento sísmico u otra carga lateral.
Curva de capacidad en edificios	Representa la capacidad de una estructura, como un edificio, para resistir fuerzas y deformaciones bajo diferentes niveles de carga, como las producidas por un evento sísmico.
Momento de curvatura en edificios	Se relaciona con la capacidad de un elemento estructural para resistir la flexión. Cuando se aplica una carga a un elemento estructural, como una viga, se desarrollan momentos flectores a lo largo de su longitud
Momento torsional en edificios	Representa la tendencia de un elemento estructural a girar alrededor de su eje longitudinal debido a la aplicación de fuerzas o momentos no concéntricos. Este fenómeno puede ser crítico en el diseño de edificios, ya que puede afectar la estabilidad y la resistencia de la estructura
Puntal equivalente	Se refiere a una simplificación o aproximación utilizada en el análisis estructural de edificios para representar de manera efectiva la contribución de los sistemas estructurales verticales, como columnas y muros, en la resistencia global a cargas horizontales, como las causadas por vientos o sismos
Niveles de desempeño	Se refieren a categorías predefinidas que describen el grado de capacidad, seguridad y funcionalidad de una estructura bajo diferentes condiciones de carga, como terremotos o vientos fuertes. Existen varias categorías de niveles de desempeño como: nivel de desempeño operativo, nivel de desempeño inmediato, nivel de desempeño colapso.
Curva de desempeño en edificios	Se utiliza en el diseño sísmico para evaluar cómo un edificio responde a diferentes niveles de fuerzas sísmicas y determinar si cumple con los criterios de seguridad y desempeño establecidos.

2.4.1 Capacidad de disipar energía

Se refiere a la capacidad inherente de un sistema estructural para absorber y disipar la energía generada por cargas dinámicas, como terremotos o vientos fuertes, con el fin de reducir el impacto de estas fuerzas sobre la estructura. Para ello podemos distinguir dos tipos de calentadores: calentadores viscosos y disipación viscoelástica. Un esparcidor viscoso es un tipo de pistón que crea una presión de amortiguación mientras intenta forzar el fluido viscoso a través de los orificios. Esto reduce las cargas sísmicas y equaliza las

deformaciones estructurales, mientras que la disipación viscoelástica, también conocida como disipación de velocidad. La idea detrás de esta amortiguación del radiador es aplicar presión sobre un elemento que pasa a través de un medio viscoso, creando fuerza en la dirección opuesta al movimiento, haciéndolo así flexible (Quintero Garcia & Sánchez Camacho, 2018).

Figura 13

Ejemplo de disipadores de energía



Fuente: Tomado de "<https://www.edvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/>"

2.5. Rehabilitaciones

2.5.1. Rehabilitación sísmica en edificios

Para realizar una rehabilitación se necesita realizar un diagnóstico con el fin de resumir los posibles daños que afectan a una edificación, y cada elemento de la misma (Maya Miranda, 2019). La rehabilitación sísmica consiste en colocar empalmes de acero de refuerzo, y posteriormente colocar el concreto de recubrimiento. El apuntalamiento debe de estar colocado durante al menos una semana después de haber finalizado el proceso de reforzamiento (Gutiérrez Trejo & Ayala Milián, 2022). Para ello es necesario realizar un análisis del rendimiento de la mano de obra de cada actividad con el fin de realizar la rehabilitación de cada elemento estructural (Jiménez Arguelles et al., 2021).

2.5.2. Estrategias de rehabilitación en edificios

Las estrategias de rehabilitación en edificios se emplean para perfeccionar, renovar o ajustar construcciones ya existentes con el propósito de extender su período de utilidad, potenciar su funcionalidad, eficacia y resguardo.

Tabla 7

Estrategias de mitigación

Reforzamiento estructural	Si el edificio tiene problemas estructurales, se pueden llevar a cabo trabajos de reforzamiento para mejorar su resistencia a las cargas sísmicas o de viento.
Actualización de sistemas	Los sistemas mecánicos, eléctricos y de plomería a menudo requieren actualizaciones para mejorar la eficiencia energética y la seguridad. Esto puede incluir la instalación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado más eficientes
Mejoras en la accesibilidad	Para cumplir con las normativas de accesibilidad, es posible que se deban realizar modificaciones, como la instalación de rampas, ascensores o escaleras accesibles.
Modernización de interiores	La renovación de interiores puede incluir la actualización de cocinas, baños, pisos y sistemas de iluminación para mejorar la funcionalidad y la comodidad.
Evaluación de sostenibilidad	Durante la rehabilitación, se pueden adoptar prácticas sostenibles, como la gestión eficiente de residuos de construcción, el uso de materiales ecológicos y la mejora de la eficiencia energética.

2.6. Procedimiento de Análisis

2.6.1 Análisis lineal

Análisis estático lineal para análisis sísmico de edificios las fuerzas sísmicas, su distribución sobre la altura del edificio, y la correspondiente. Se determinarán las fuerzas internas y los desplazamientos del sistema. Utilizando un análisis estático linealmente elástico de acuerdo con esta sección (American Society of Civil Engineers, 2014).

Análisis dinámico lineal se utiliza en análisis sísmicos de edificios, se calcularán las fuerzas sísmicas, su distribución en la altura del edificio y las fuerzas internas, así como los desplazamientos del sistema. Esto se llevará a cabo mediante un análisis dinámico

linealmente elástico que cumple con los requisitos establecidos en esta sección (American Society of Civil Engineers, 2014).

2.6.2 Análisis no lineal

El Análisis Estático No Lineal o Pushover, representa una técnica efectiva para evaluar la capacidad, resistencia y deformación de una estructura frente a acciones horizontales (Vargas et al., 2013). Este procedimiento se caracteriza por mantener las cargas gravitacionales constantes mientras se aplican gradualmente cargas laterales a la estructura, aumentándolas de forma monótona a lo largo del análisis (Simbaña Vela et al., 2021). Los resultados numéricos fueron contrastados con los obtenidos a través del análisis de límite cinemático como un método para corroborar la evaluación de la seguridad sísmica en la valoración del comportamiento ante sismos (Elyamani et al., 2017) .

Análisis Dinámico No lineal o análisis histórico, este análisis requiere al menos tres registros de movimiento sísmico para calcular los espectros de aceptación, ya que la respuesta calculada es muy sensible. Se emplea un modelo matemático basado en el tiempo. El análisis histórico sigue un enfoque similar al de los espectros de respuesta, por lo que se necesitan múltiples registros de movimiento sísmico. Esto permite observar cómo responde la estructura a lo largo de su historia temporal (Sardar & Hama, 2018).

Análisis Dinámico incremental trata de someter a los modelos matemáticos a una combinación entre la carga gravitacional y una aceleración sísmica de los registros cuya amplitud es incrementada progresivamente. Además, se debe seleccionar la capacidad de deriva de entrepiso promedio que provoca el colapso (Añazco et al., 2022).

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 Modalidad básica de la investigación

Cabe destacar que la modalidad básica de la investigación en el análisis del modelado de un edificio implica una aproximación directa al estudio de sus propiedades y comportamientos, utilizando datos recopilados directamente del entorno físico del edificio para generar conocimientos fundamentales que puedan ser aplicados en el campo de la ingeniería estructural.

Este tema de investigación tendrá un enfoque cuantitativo debido a que implica el uso de métodos matemáticos y técnicas numéricas para obtener resultados cuantitativos que describan y analicen de manera precisa el comportamiento estructural. Este enfoque es valioso para la ingeniería estructural y puede utilizarse en el diseño, análisis y optimización de los resultados que denoten sobre el: Análisis dinámico modal espectral, Análisis estático no lineal y la Curva de capacidad.

3.2 Tipo de investigación

3.2.1 Documental

Se llevará a cabo una investigación exhaustiva para recolectar información bibliográfica que se encuentra estipulada en numerosos artículos científicos, trabajos de titulación de posgrado y doctorado, código ecuatoriano de la construcción (CEC-2000), Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) y las diferentes normativas que nos ayude en el proceso del análisis estático No lineal, en el cual se pretende reconocer los suministros necesarios.

3.2.2 De campo

La investigación de campo en el estudio de un edificio es fundamental para comprender su comportamiento en condiciones reales y para obtener datos específicos que pueden no estar disponibles de otra manera. De tal manera, por medio de este tipo de investigación se recopilará información cualitativa de la estructura, tales como, secciones de columnas, vigas y losas; alturas de entrepiso y distancias entre ejes de los elementos.

3.2.3 Descriptiva

La investigación descriptiva sobre el diseño de una estructura tiene como objetivo principal describir las características, propiedades y detalles específicos del diseño de la edificación. Por tal motivo, se analizará la respuesta dinámica de la estructura considerando el análisis lineal y el análisis estático no lineal por el método pushover, dado que este tipo de investigación se enfoca en proporcionar una representación detallada y precisa de los elementos relacionados con la estructura, sin buscar explicar relaciones causales o probar hipótesis.

3.3 Objeto de estudio

El análisis del edificio del Bloque 4 del Campus Machala cuenta con un sistema estructural aporticado que contiene la delimitación del objeto de estudio, en el cual hace referencia a los Métodos de Evaluación de la Capacidad Estructural, que es la investigación propuesta en este proyecto, por lo tanto, se tomará como referencia esta construcción para los próximos resultados, y a continuación se detalla los usos ocupacionales que tiene esta edificación.

Tabla 8. Uso de la estructura de hormigón Armado

Piso	Uso
P-subsuelo	Bodegas de almacenamiento
P1	Aulas
P2	Sala de computación
P3	Aulas
P4	Aulas
P5	Aulas
P6	Sala de reuniones
Terraza	Cubierta

Fuente: Elaboración Propia

3.4 Descripción de la población y muestra

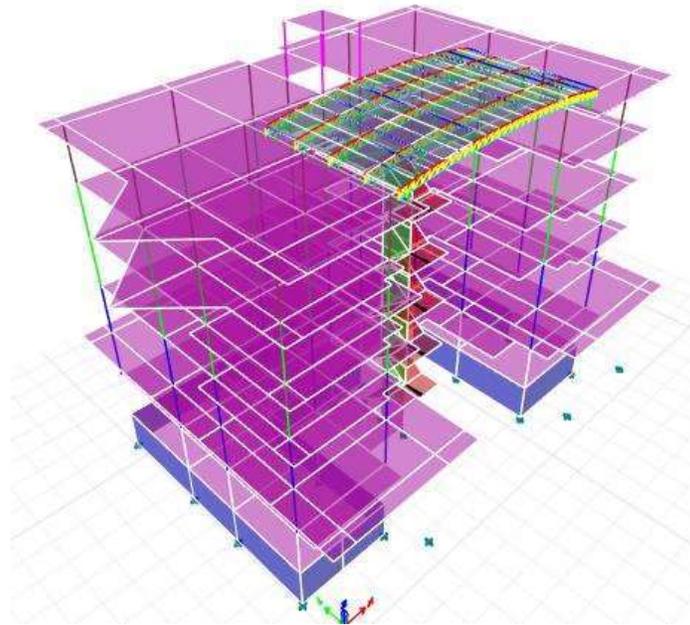
La población comprende a la edificación del bloque 4 del campus Machala, correspondiente a una comunidad estudiantil que estará definida por una estructura aporticada tomados en cuenta para el estudio del presente trabajo de investigación, las cuales se describirán a detalle.

3.5 Métodos teóricos con los materiales utilizados

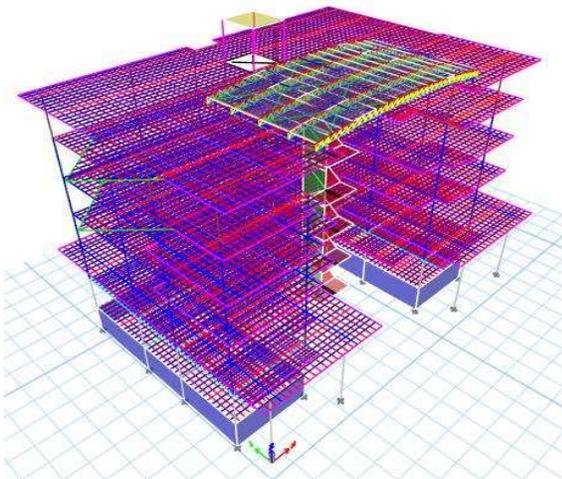
3.5.1 Modelación

El proceso de modelación consiste en la representación de todos los elementos estructurales y no estructurales a través del modelado de una edificación, con su respectivo diseño y detalles, además se tiene en cuenta su dimensión y las características que componen los materiales, satisfaciendo todos los parámetros que se requiere para el análisis estructural.

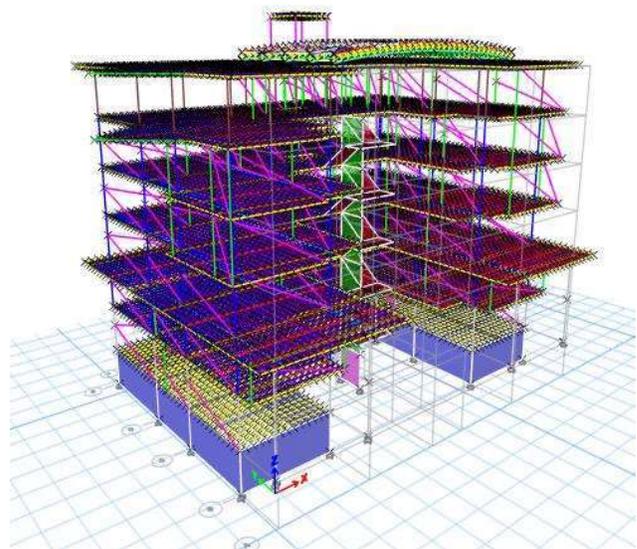
Figura 14. Modelo estructuras de hormigón Armado



a) Estructura con losa tipo Membrana



b) Estructura con losa reticulada



c) Estructura con losa reticulada y Puntales

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.1 Especificaciones técnicas de la edificación

Se considero las siguientes especificaciones para la construcción del edificio del bloque 4 las cuales son:

- Código Ecuatoriano de la Construcción, Reglamento ACI. 318-95, normas A.S.T.M.
- Resistencia de Diseño para Concreto $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia del Acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, para $\varnothing 10$ en adelante
- Resistencia del Acero $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$, para $\varnothing 8\text{mm}$
- La Cota de Cimentación será = - 2.30 m. y -1,00m.

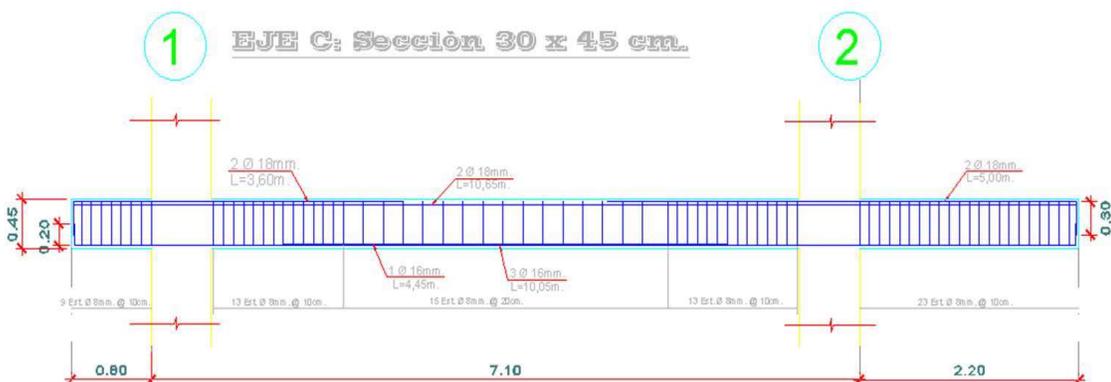
Se realizo reposición de suelo con lastre compactado $h = 1.60 \text{ m}$ al 95% del Proctor modificado en capas de 20 cm.

Replantillo de hormigón simple $e = 10 \text{ cm}$.

Para la estructura de hormigón armado que está conformado por elementos estructurales como vigas, columnas y losas fueron brevemente revisados en campo, las cuales se detallan a continuación:

- **Vigas:** El edificio empleado para el modelo estructural posee 459 vigas conformado por vigas principales, vigas secundarias, vigas banda, vigas de borde y nervios en ambas direcciones correspondiente para el modelado del edificio que posee la losa reticulada, de la misma forma se considera los elementos para el modelo estructural con losa membrana a excepción de los nervios. (Ver tabla 9), a continuación, se detalla:

Figura 15: Dimensión de la viga

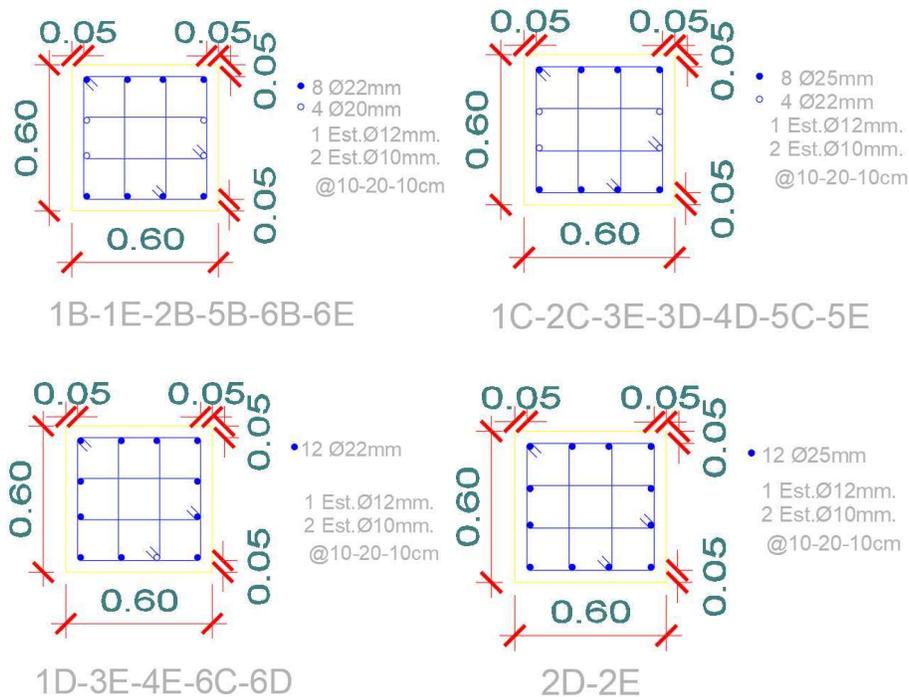


Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

Las columnas para el bloque 4 en general son de sección cuadrada con dimensiones de 60x60 cm, 50x50 cm, 40x40 cm y una sección de 30x30 cm en la última planta.

- A continuación, se muestra la esquematización de las columnas para la planta de cimentación y la planta baja:

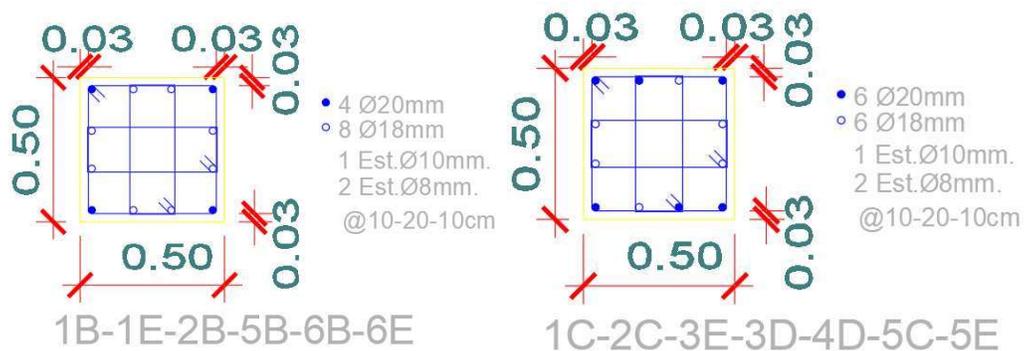
Figura 16: Sección de elementos estructurales para la PC y PB

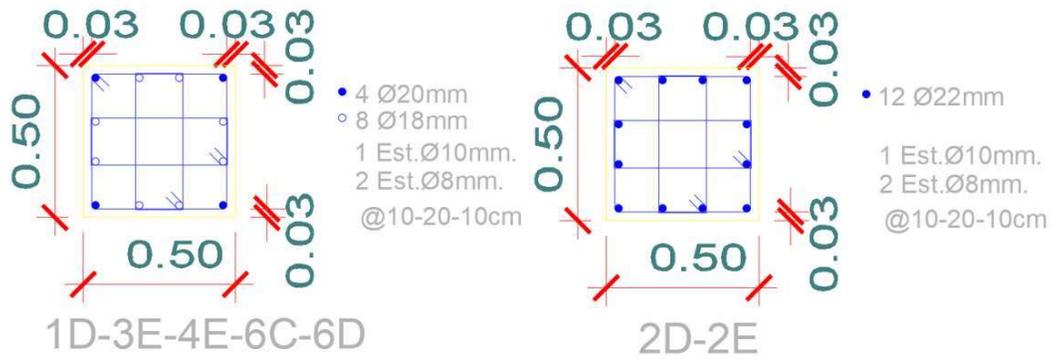


Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

- A continuación, se muestra la esquematización de las columnas para la primera y segunda planta:

Figura 17. Sección de elementos estructurales para la 1P y 2P

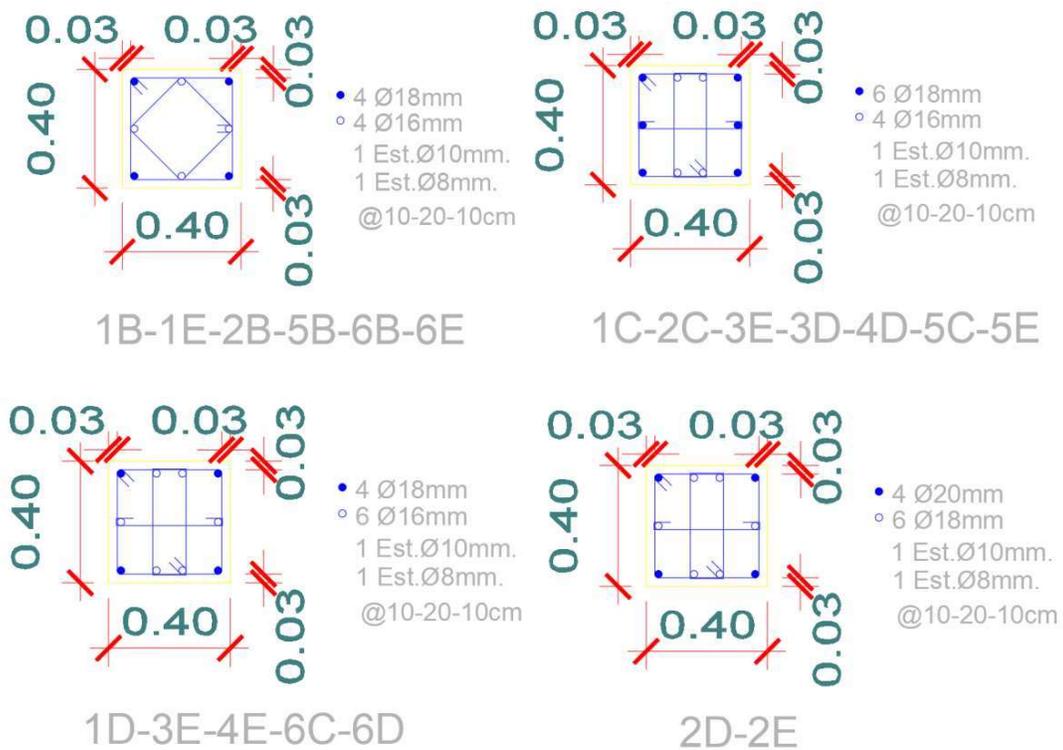




Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

- A continuación, se muestra la esquematización de las columnas para la tercera y cuarta planta:

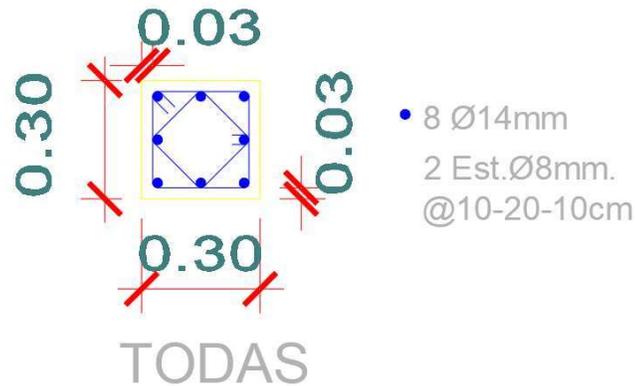
Figura 18: Sección de elementos estructurales para la 3P y 4P



Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

- A continuación, se muestra la esquematización de las columnas para la **quinta** planta:

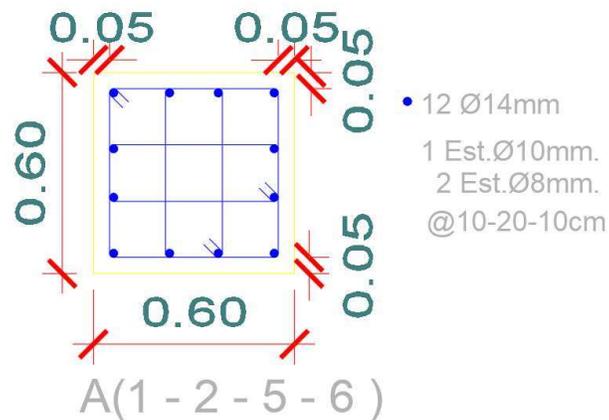
Figura 19: Sección de elementos estructurales para la 5P



Fuente: Los autores

- A continuación, se muestra la esquematización de la **columna entregada:**

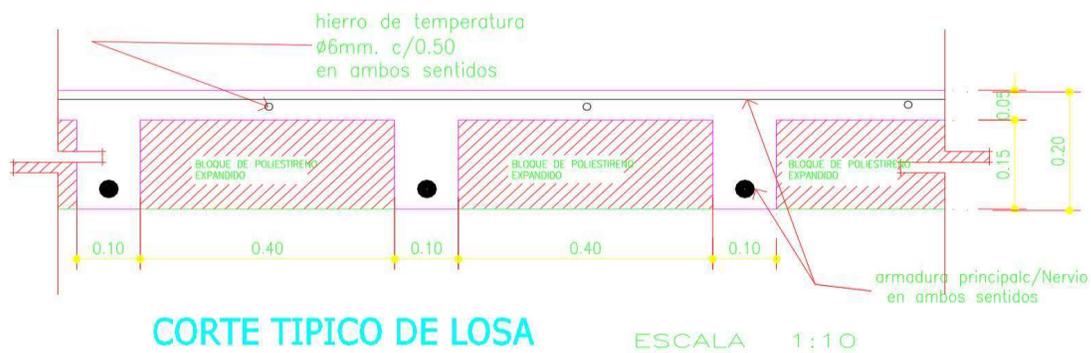
Figura 20. Sección de elementos estructurales columna entregada



Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

- A continuación, se muestra la esquematización de la losa para todas las **plantas:**

Figura 21: Detalle de la Losa



Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

Tabla 9: Dimensiones de los elementos estructurales

SECCIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES			
VIGAS			
NIVEL	DEFINICIÓN	SECCIÓN (cm)	ACERO (mm)
PLANTA BAJA	Eje B 1-2 y 5-6	25x50	7Φ16mm
	Eje C 1-2 y 5-6	25x50	10Φ16mm
	Eje D 1-2 y 5-6	30x50	7Φ18mm
	Eje D 2-3 y 4-5	30x50	2Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje D 3-4	30x50	3Φ14mm
	Eje E 1-2 y 5-6	25x50	6Φ16mm
	Eje E 2-3 y 4-5	25x50	2Φ16mm - 3Φ14mm
	Eje E 3-4	25x50	3Φ14mm
	Eje A-B 1 y 6	25x50	8Φ16mm
	Eje B-C 1 y 6	25x50	1Φ16mm
	Eje C-D 1 y 6	25x50	8Φ16mm
	Eje A-B 2 y 5	30X50	10Φ18mm
	Eje B-C 2 y 5	30X50	1Φ18mm
	Eje C-D 2 y 5	30x50	10Φ18mm
	Eje D-E 3 y 4	25x50	9Φ16mm
PRIMERA PLANTA	Eje B 1-2 y 5-6	30x50	10Φ16mm
	Eje C 1-2 Y 5-6	30x50	8Φ18mm
	Eje D 2-3 Y 4-5	30x50	2Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje D 4-5	30x50	3Φ16mm
	Eje E 1-2 Y 5-6	30x50	7Φ16mm - 1Φ18mm
	Eje E 2-3 Y 4-5	30x50	6Φ16mm
	Eje E 4-5	30x50	3Φ16mm
	Eje B-C 1-6	30x50	10Φ16mm
	Eje C-D 1-6	30x50	1Φ16mm
	Eje D-E 1-6	30x50	10Φ16mm
	Eje B-C 2 y 5	30x50	10Φ18mm
	Eje C-D 2 y 5	30x50	1Φ18mm
	Eje D-E 2 y 5	30x50	11Φ18mm
	Eje D-E 3 y 4	30x50	4Φ18mm - 4Φ16mm

SEGUNDA, TERCERA Y CUARTA PLANTA	Eje B 1-2 y 5-6	30x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje C 1-2 y 5-6	30x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje D 1-2 y 5-6	30x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje D 2-3 y 4-5	30x45	2Φ18mm - 4Φ14mm
	Eje D 3-4	30x45	3Φ14mm
	Eje E 1-2 y 5-6	30x45	8Φ16mm
	Eje E 2-3 y 4-5	30x45	2Φ16mm - 4Φ14mm
	Eje E 3-4	30x45	3Φ14mm
	Eje B-C 1-6	30x45	8Φ16mm
	Eje C-D 1 y 6	30 x 45	1Φ16mm
	Eje D-E 1 y 6	30x45	8Φ16mm
	Eje B-C 2 y 5	30x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje C-D 2 y 5	30x45	1Φ16mm
	Eje D-E 2 y 5	30x45	5Φ18mm - 7Φ16mm
	Eje D-E 3 y 4	30x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
QUINTA PLANTA Y AZOTEA	Eje B 1-2 y 5-6	25x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje C 1-2 y 5-6	25x45	2Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje D 1-2 y 5-6	25x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje D 2-3 y 4-5	25x45	2Φ18mm - 4Φ14mm
	Eje D 3-4	25x45	3Φ14mm
	Eje E 1-2 y 5-6	25x45	8Φ16mm
	Eje E 2-3 y 4-5	25x45	2Φ16mm - 4Φ14mm
	Eje E 3-4	25x45	3Φ14mm
	Eje B-C 1-6	25x45	8Φ16mm
	Eje C-D 1-6	25x45	1Φ16mm
	Eje D-E 1-6	25x45	11Φ16mm
	Eje B-C 2-5	25x45	4Φ18mm - 4Φ16mm
	Eje C-D 2-5	25x45	1Φ16mm
	Eje D-E 2-5	25x45	5Φ18mm - 7Φ16mm
Eje D-E 3-4	25x45	4Φ18mm - 4Φ16mm	
COLUMNAS			
PLANTA DE CIMENTACIÓN Y LA PLANTA BAJA	1B-1E-2B -5B-6B-6E	60x60	8Φ22mm - 4Φ22mm
	1C-2C-3E -3D-4D-5C-5E	60x60	8Φ25mm - 4Φ22mm
	1D-3E-4E -6C-6D	60x60	12Φ22mm
	2D-2E	60X60	12Φ25mm
PRIMERA Y SEGUNDA PLANTA	1B-1E-2B-5B-6B- 6E	50x50	4Φ20mm - 8Φ18mm
	1C-2C-3E-3D-4D- 5C-5E	50x50	6Φ20mm - 6Φ18mm
	1D-3E-4E-6C-6D	50x50	4Φ20mm - 8Φ18mm
	2D-2E	50x50	12Φ22mm

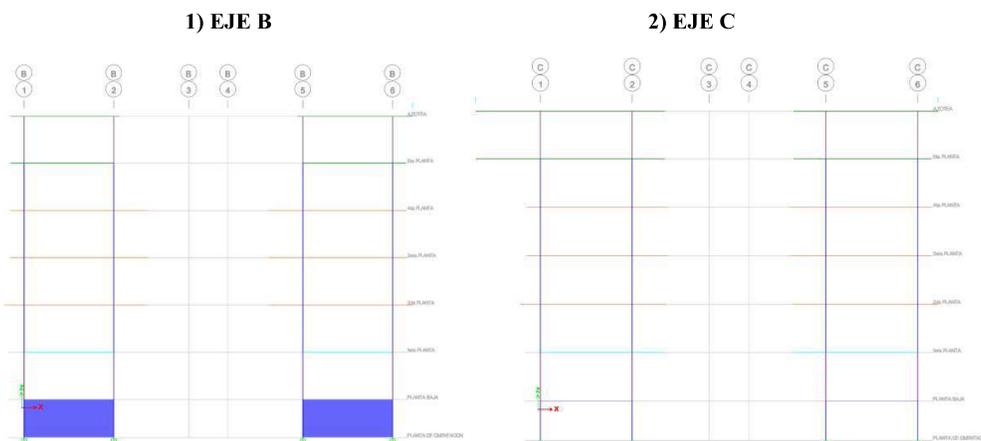
TERCERA Y CUARTA PLANTA	1B-1E-2B-5B-6B-6E	40X40	4Φ18mm - 4Φ16mm
	1C-2C-3E-3D-4D-5C-5E	40x40	6Φ18mm - 4Φ16mm
	1D-3E-4E-6C-6D	40X40	4Φ18mm - 6Φ16mm
	2D-2E	40X40	4Φ20mm - 6Φ18mm
QUINTA PLANTA	TODAS	30x30	8Φ14mm
	A (1-2-5-6)	60x60	12Φ14mm
LOSA			
LOSAS	LOSA	Espesor: 20 cm	Hierro de temperatura Φ6mm c/0.50 en ambos sentidos

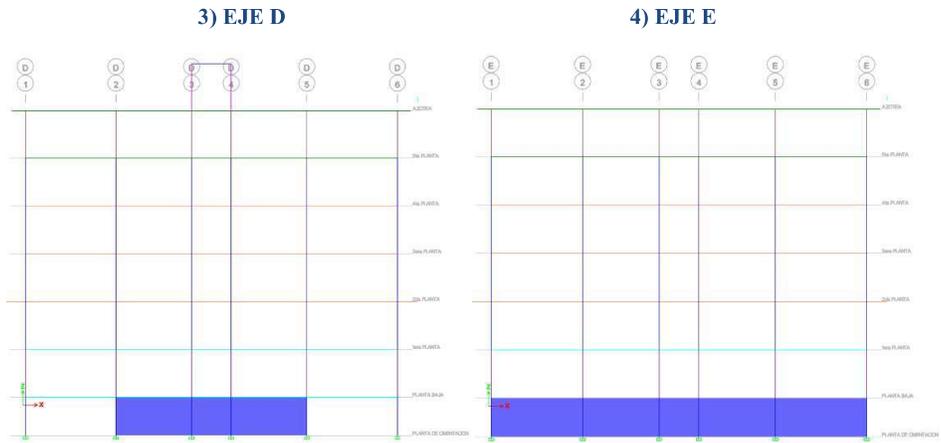
Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.2 Configuración en planta y elevación

La configuración del edificio del Bloque 4 en elevación se extiende desde la Planta Baja hasta la Azotea con una altura de entrepiso 3,6 metros por lo cual en la última losa existe una cubierta metálica. Además, desde la Planta de Cimentación hasta la Planta Baja, la altura es de 2,3 metros. Este edificio se clasifica como una estructura aporticada, y su sistema de cimentación está compuesto por zapatas corridas.

Figura 22. Configuración Estructural en Elevación en dirección X

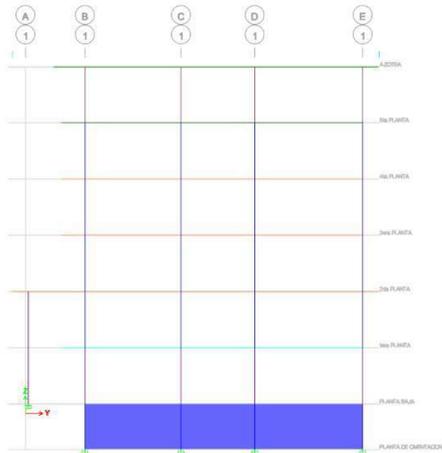




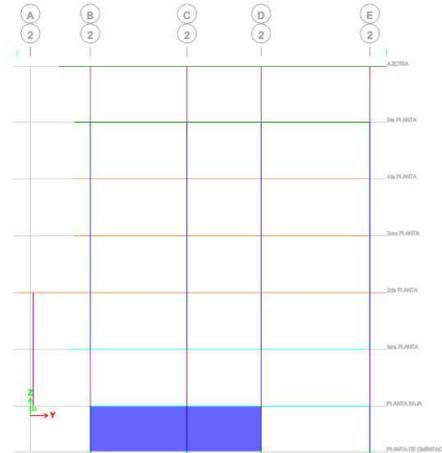
Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

Figura 23: Configuración Estructural en Elevación en dirección Y

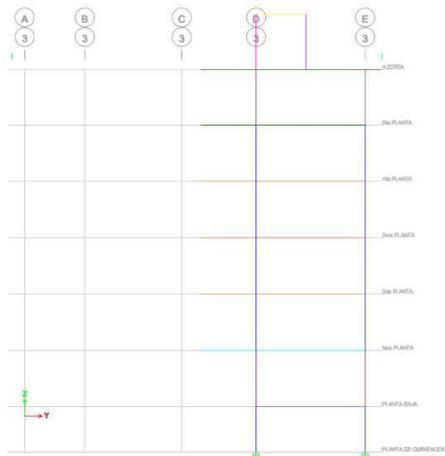
a) EJE # 1



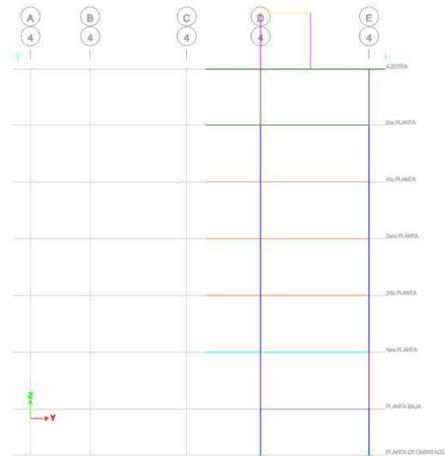
b) EJE # 2

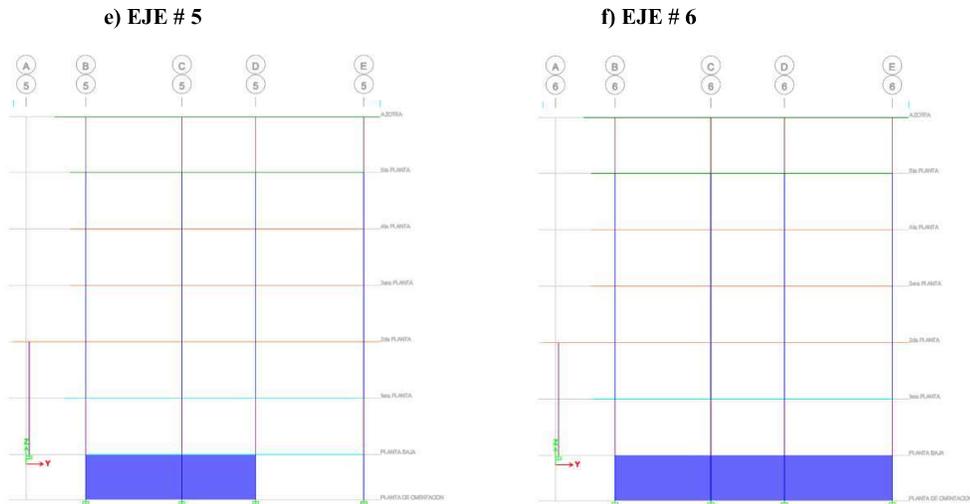


c) EJE # 3



d) EJE # 4





Fuente: Planos estructurales del Edificio Bloque 4

3.5.1.3 Distribución de cargas

Para las cargas de la edificación es importante reconocer la ocupación que tiene cada nivel de piso. Además, la correcta distribución de cargas es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura. En este trabajo de investigación tenemos el edificio con losa membrana y losa reticulada de las cuales todas las cargas fueron colocadas debidamente a cada una de ellas.

Tabla 10. Cargas utilizadas en la estructura

Estructuras de hormigón Armado		
Piso	Carga Muerta	Carga Viva
	kg/m ²	kg/m
P1	500	200
P2	495	200
P3	550	200
P4	545	490
P5	480	490
Terraza	365	250
Losa de la caseta	420	80
Paneles de Cubierta	35	80
Losa de escalera	250	300

Fuente: Elaboración Propia

Tenemos que considerar que para la carga muerta mostrada en la tabla anterior contiene el peso de la losa aligerada de 20 cm, con un valor de $300 \frac{kg}{m^2}$.

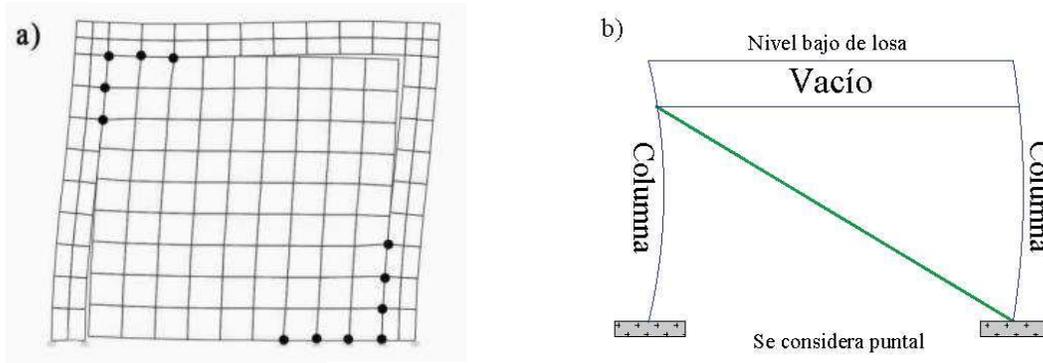
3.5.1.4 Puntales equivalentes

El éxito de la modelación de la estructura con losa reticulada está en proponer correctamente el ancho del puntal equivalente, por lo cual el enfoque desarrollado por Holmes recoge esos datos y publica en 1961 un estudio sobre la metodología de rigidización lateral para pórticos de acero no arriostrados a través de la inclusión de paredes de mampostería de ladrillo sólido o relleno los pórticos con hormigón simple, dado que se quiere experimentar las fuerzas y deformaciones de la estructura.

Es importante destacar que la mampostería no estructural y no confinada puede ser susceptible a daños en caso de eventos sísmicos, ya que no tiene la capacidad de absorber y disipar eficazmente las fuerzas sísmicas. En regiones propensas a terremotos, se recomienda seguir prácticas de construcción que incluyan el refuerzo sísmico adecuado para garantizar la seguridad estructural. La mampostería también proporciona predicciones complejas, ya que involucra múltiples factores como la anisotropía del material, las juntas de la estructura del panel y muchos modos de falla. Por estos motivos, se ha descuidado la modelación ya que solamente se toma la premisa de ser únicamente arquitectónico. Debido a este problema, en este proyecto de titulación se ha desarrollado el método de la macro modelación, considerando más pertinente en comparación con el método de micro-modelación.

- **Micro-modelado:** Se basa en elementos finitos debido a la composición que posee la mampostería no confinada por lo que es importante tener en cuenta que en la modelación se considera tres tipos de elementos. En primer lugar, un pórtico o un marco que defina la edificación. Segundo, se asume la condición de (shell/panel) para la mampostería y finalmente elementos interfase que permitan representar la interacción entre el panel y el marco. Evidentemente, este método conlleva a ser más trabajado en el modelo.
- **Macro-modelado:** Para este método se considera un puntal diagonal a compresión, dado que el mismo atraviesa el panel conectando a las esquinas del marco o pórtico. Para mejores efectos en algunos casos se consideran dos y hasta tres puntales, dándonos a conocer que este grupo desarrolla un modelo más simplificado lo cual representa el resultado global de la mampostería ante cargas laterales. Entonces este procedimiento requiere un ancho equivalente para el puntal diagonal.

Figura 24: Técnicas de modelación de mampostería. a) Micro-modelación. b) Macro-modelación



Fuente: Elaboración Propia

Los puntales que se van a colocar en las estructuras deben tener un ancho equivalente al de la pared, de tal forma que el problema radica en determinar el ancho efectivo del puntal diagonal (w). A continuación, se muestra una tabla que resume algunas formulas para encontrar esta cuestión.

Tabla 11. Expresiones para el cálculo del ancho equivalente del puntal.

Objetivo	Propuesta	# Puntales	Ancho equivalente
Periodos	Holmes	1	$0.33 \cdot d_m$
Derivas	Bazan	3	$w = (0.35 + 0.22\beta) \cdot h$
Momentos	Holmes	1	$0.33 \cdot d_m$
Cortantes	Holmes	3	$0.33 \cdot d_m$
	Bazan	3	$w = (0.35 + 0.22\beta) \cdot h$

Fuente: Raul Paredes Bernal

Un factor a considerar, es que al momento de realizar el diseño se debe tener en cuenta la altura representativa del entrepiso. Por lo cual podemos decir que la altura de la mampostería tiene que ser el 50% mayor a la altura del nivel de entrepiso para considerarse como elemento puntal.

En este trabajo de titulación tendrá como objetivo modelar los puntales en el diseño de la losa reticulada a través de la fórmula de Holmes.

Holmes:

$$w = \frac{d_w}{3}$$

Donde:

w: Ancho equivalente del puntal diagonal

dm: Longitud del puntal diagonal

Es importante considerar que si hay varios modos de vibración significativos, sería necesario obtener un conjunto de puntales equivalentes, debido a que todo empieza con un diseño arquitectónico que es dibujado en un software de análisis estructural y ante los resultados de los modos de vibración podemos percatarnos la dirección dominante de análisis ante las cargas laterales, debido a que estos elementos simplifican la representación la estructura diseñada.

A continuación, se presenta las tablas en donde se registra los anchos equivalentes de los puntales del modelo de la losa reticulada con puntales.

Tabla 12: Ancho para puntales equivalentes del primer piso

fm:	95	kg/cm2	Ec:	250	kg/cm2	Em:	85500	kg/cm2	t:	18	cm	
bC:	60	cm	hC:	60	cm	H:	360	cm				
Hv.abajo:	50	cm	Hv.arriba:	50	cm							

NIVEL	PORTICO	L (cm)	Base de C (cm)	Altura de C (cm)	H (cm)	h (cm)	D (cm)	ANCHO (cm)	ANCHO (m)
0 a 1	E: 1-2	622,5	60	60	360	205	655,386	218,462	2,185
	E: 2-3	510	60	60	360	205	549,659	183,2196667	1,832
	E: 3-4	0	60	60	360	0	0	0	0
	E: 4-5	510	60	60	360	205	549,659	183,2196667	1,832
	E: 5-6	572,5	60	60	360	205	608,096	202,6986667	2,027
	D: 1-2	700	60	60	360	310	765,572	255,1906667	2,552
	D: 2-3	0	60	60	360	0	0	0	0
	D: 3-4	0	60	60	360	0	0	0	0
	D: 4-5	320	60	60	360	310	445,533	148,511	1,485
	D: 5-6	248	60	60	360	310	396,994	132,3313333	1,323
	C: 1-2	0	60	60	360	0	0	0	0
	C: 5-6	0	60	60	360	0	0	0	0
	B: 1-2	0	60	60	360	0	0	0	0

	B: 5-6	0	60	60	360	0	0	0	0
	A: 1-2	0	60	60	360	0	0	0	0
	A: 5-6	0	60	60	360	0	0	0	0
	1: E-D	627,5	60	60	360	205	660,137	220,0456667	2,200
	1: D-C	285	60	60	360	205	351,07	117,0233333	1,170
	1: C-B	551,25	60	60	360	205	588,134	196,0446667	1,960
	1: B-A	0	60	60	360	0	0	0	0
	2: E-D	700	60	60	360	310	765,572	255,1906667	2,552
	2: D-C	700	60	60	360	310	765,572	255,1906667	2,552
	2: C-B	0	60	60	360	0	0	0	0
	2: B-A	0	60	60	360	0	0	0	0
	3: E-D	455	60	60	360	310	550,568	183,5226667	1,835
	4: E-D	455	60	60	360	310	550,568	183,5226667	1,835
	5: E-D	500	60	60	360	310	588,303	196,101	1,9611
	5: D-C	310	60	60	360	310	438,406	146,1353333	1,461
	5: C-B	0	60	60	360	0	0	0	0
	5: B-A	0	60	60	360	0	0	0	0
	6: E-D	627,5	60	60	360	205	660,137	220,0456667	2,204
	6: D-C	285	60	60	360	205	351,07	117,0233333	1,170
	6: C-B	551,25	60	60	360	205	588,134	196,0446667	1,961
	6: B-A	0	60	60	360	0	0	0	0
	4-5: E-D	687,5	60	60	360	310	754,159	251,3863333	2,514
	5-6: E-D	687,5	60	60	360	310	754,159	251,3863333	2,514
	E: 1. 5-6	0	60	60	360	310	310	103,3333333	1,033
	E: 2. 5-6	0	60	60	360	310	310	103,3333333	1,033
	4-5: E-D	0	60	60	360	310	310	103,3333333	1,033
	5-6: E-D	0	60	60	360	310	310	103,3333333	1,033

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 13: Ancho para puntales equivalentes del segundo piso

fm:	95	kg/cm2	Ec:	250	kg/cm2	Em:	85500	kg/cm2	t:	18	cm	
bC:	50	cm	hC:	50	cm	H:	362,5	cm				
Hv.abajo:	50	cm	Hv.arriba:	45	cm							

NIVEL	PORTICO	L (cm)	Base de C (cm)	Altura de C (cm)	H (cm)	h (cm)	D (cm)	ANCHO (cm)	ANCHO (m)
0 a 1	E: 1-2	632,5	50	50	362,5	205	664,892	221,6306667	2,216
	E: 2-3	520	50	50	362,5	205	558,95	186,3166667	1,863
	E: 3-4	247,5	50	50	362,5	360	436,871	145,6236667	1,456
	E: 4-5	432	50	50	362,5	205	478,173	159,391	1,593
	E: 5-6	632,5	50	50	362,5	205	664,892	221,6306667	2,216
	D: 1-2	720	50	50	362,5	310	783,901	261,3003333	2,613
	D: 2-3	370	50	50	362,5	205	422,995	140,9983333	1,41
	D: 3-4	0	50	50	362,5	0	0	0	0
	D: 4-5-6	1017	50	50	362,5	310	1063,198	354,3993333	3,544
	D: 5-6	0	50	50	362,5	0	0	0	0
	C: 1-2	632,5	50	50	362,5	310	704,384	234,7946667	2,348
	C: 5-6	632,5	50	50	362,5	310	704,384	234,7946667	2,348
	B: 1-2	682,5	50	50	362,5	360	771,626	257,2086667	2,572
	B: 5-6	0	50	50	362,5	0	0	0	0
	A: 1-2	0	50	50	362,5	0	0	0	0
	A: 5-6	682,5	50	50	362,5	360	771,626	257,2086667	2,572
	1: E-D	637,5	50	50	362,5	205	669,65	223,2166667	2,232
	1: D-C	418,75	50	50	362,5	205	466,237	155,4123333	1,554
	1: C-B	561,25	50	50	362,5	205	597,517	199,1723333	1,992
	1: B-A	0	50	50	362,5	0	0	0	0
	2: E-D	855	50	50	362,5	310	909,464	303,1546667	3,032
	2: D-C	0	50	50	362,5	0	0	0	0
	2: C-B	561,25	50	50	362,5	205	597,517	199,1723333	1,992
	2: B-A	0	50	50	362,5	0	0	0	0
3: E-D	637,5	50	50	362,5	310	708,877	236,2923333	2,363	

4: E-D	562,5	50	50	362,5	310	642,266	214,0886667	2,141
5: E-D	425	50	50	362,5	310	526,047	175,349	1,753
5: D-C	418,75	50	50	362,5	205	466,237	155,4123333	1,554
5: C-B	461,25	50	50	362,5	205	504,754	168,2513333	1,683
5: B-A	0	50	50	362,5	0	0	0	0
6: E-D	637,5	50	50	362,5	205	669,65	223,2166667	2,232
6: D-C	418,75	50	50	362,5	205	466,237	155,4123333	1,554
6: C-B	561,25	50	50	362,5	205	597,517	199,1723333	1,992
6: B-A	0	50	50	362,5	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14: Ancho para puntales equivalentes del tercer piso

fm:	95	kg/cm2	Ec:	250	kg/cm2	Em:	85500	kg/cm2	t:	18	cm
bC:	50	cm	hC:	50	cm	H:	360	cm			
Hv.abajo:	45	cm	Hv.arriba:	45	cm						

NIVEL	PORTICO	L (cm)	Base de C (cm)	Altura de C (cm)	H (cm)	h (cm)	D (cm)	ANCHOS (cm)	ANCHO (m)
0 a 1	E: 1-2	632,5	50	50	360	205	664,892	221,6306667	2,216
	E: 2-3	520	50	50	360	205	558,95	186,3166667	1,863
	E: 3-4	247,5	50	50	360	315	400,601	133,5336667	1,335
	E: 4-5	520	50	50	360	205	558,95	186,3166667	1,863
	E: 5-6	632,5	50	50	360	205	664,892	221,6306667	2,216
	D: 1-2	632,5	50	50	360	315	706,598	235,5326667	2,355
	D: 2-3	420	50	50	360	315	525	175	1,75
	D: 3-4	0	50	50	360	0	0	0	0
	D: 4-5	420	50	50	360	315	525	175	1,75
	D: 5-6	632,5	50	50	360	315	706,598	235,5326667	2,355
	C: 1-2	632,5	50	50	360	315	706,598	235,5326667	2,355
	C: 5-6	632,5	50	50	360	315	706,598	235,5326667	2,355
	B: 1-2	632,5	50	50	360	205	664,892	221,6306667	2,216
	B: 5-6	632,5	50	50	360	205	664,892	221,6306667	2,216

A: 1-2	0	50	50	360	0	0	0	0
A: 5-6	0	50	50	360	0	0	0	0
1: E-D	637,5	50	50	360	205	669,65	223,2166667	2,232
1: D-C	418,75	50	50	360	205	466,237	155,4123333	1,554
1: C-B	561,25	50	50	360	205	597,517	199,1723333	1,992
1: B-A	0	50	50	360	0	0	0	0
2: E-D	0	50	50	360	0	0	0	0
2: D-C	320	50	50	360	205	380,033	126,6776667	1,267
2: C-B	405	50	50	360	205	453,927	151,309	1,513
2: B-A	0	50	50	360	0	0	0	0
3: E-D	470	50	50	360	315	565,796	188,5986667	1,886
4: E-D	637,5	50	50	360	315	711,078	237,026	2,370
5: E-D	0	50	50	360	0	0	0	0
5: D-C	320	50	50	360	205	380,033	126,6776667	1,267
5: C-B	405	50	50	360	205	453,927	151,309	1,51309
5: B-A	0	50	50	360	0	0	0	0
6: E-D	637,5	50	50	360	205	669,65	223,2166667	2,232
6: D-C	418,75	50	50	360	205	466,237	155,4123333	1,551
6: C-B	561,25	50	50	360	205	597,517	199,1723333	1,992
6: B-A	0	50	50	360	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Ancho para puntales equivalentes del Cuarto Piso

fm:	95	kg/cm2	Ec:	250	kg/cm2	Em:	85500	kg/cm2	t:	18	cm	
bC:	40	cm	hC:	40	cm	H:	360	cm				
Hv.abajo:	45	cm	Hv.arriba:	45	cm							

NIVEL	PORTICO	L (cm)	Base de C (cm)	Altura de C (cm)	H (cm)	h (cm)	D (cm)	ANCHOS (cm)	ANCHO (m)
0 a 1	E: 1-2	642,5	40	40	360	205	674,412	224,804	2,24804
	E: 2-3	530	40	40	360	205	568,265	189,4216667	1,894
	E: 3-4	257,5	40	40	360	310	402,997	134,3323333	1,343

E: 4-5	392	40	40	360	205	442,367	147,4556667	1,475
E: 5-6	642,5	40	40	360	205	674,412	224,804	2,248
D: 1-2	320	40	40	360	310	445,533	148,511	1,485
D: 2-3	430	40	40	360	310	530,094	176,698	1,767
D: 3-4	0	40	40	360	0	0	0	0
D: 4-5	160	40	40	360	310	348,855	116,285	1,163
D: 5-6	485	40	40	360	310	575,608	191,8693333	1,919
C: 1-2	782,5	40	40	360	310	841,669	280,5563333	2,806
C: 5-6	782,5	40	40	360	310	841,669	280,5563333	2,806
B: 1-2	641,4	40	40	360	310	712,386	237,462	2,375
B: 5-6	641,4	40	40	360	310	712,386	237,462	2,375
A: 1-2	0	40	40	360	0	0	0	0
A: 5-6	0	40	40	360	0	0	0	0
1: E-D	647,5	40	40	360	205	679,177	226,3923333	2,264
1: D-C	428,75	40	40	360	205	475,238	158,4126667	1,584
1: C-B	180	40	40	360	360	402,492	134,164	1,34164
1: B-A	0	40	40	360	0	0	0	0
2: E-D	647,5	40	40	360	310	717,883	239,2943333	2,393
2: D-C	333,75	40	40	360	310	455,51	151,8366667	1,514
2: C-B	336,25	40	40	360	310	457,345	152,4483333	1,5245
2: B-A	0	40	40	360	0	0	0	0
3: E-D	501,5	40	40	360	310	589,578	196,526	1,965
4: E-D	647,5	40	40	360	310	717,883	239,2943333	2,393
5: E-D	682,5	40	40	360	310	749,604	249,868	2,499
5: D-C	328,75	40	40	360	205	387,429	129,143	1,291
5: C-B	381,25	40	40	360	205	432,87	144,29	1,443
5-6: E-D	735	40	40	360	310	797,7	265,9	2,659
6: E-D	647,5	40	40	360	205	679,177	226,3923333	2,264
6: D-C	428,75	40	40	360	205	475,238	158,4126667	1,584
6: C-B	180	40	40	360	360	402,492	134,164	1,341
6: B-A	0	40	40	360	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Ancho para puntales equivalentes del Quinto Piso

fm:	95	kg/cm2	Ec:	250	kg/cm2	Em:	85500	kg/cm2	t:	18	cm	
bC:	40	cm	hC:	40	cm	H:	360	cm				
Hv.abajo:	45	cm	Hv.arriba:	45	cm							

NIVEL	PORTICO	L (cm)	Base de C (cm)	Altura de C (cm)	H (cm)	h (cm)	D (cm)	ANCHOS (cm)	ANCHO (m)
0 a 1	E: 1-2	642,5	40	40	360	205	674,412	224,804	2,248
	E: 2-3	384,2	40	40	360	205	435,471	145,157	1,451
	E: 3-4	257,5	40	40	360	315	406,855	135,6183333	1,356
	E: 4-5	530	40	40	360	205	568,265	189,4216667	1,894
	E: 5-6	642,5	40	40	360	205	674,412	224,804	2,248
	D: 1-2	490	40	40	360	315	582,516	194,172	1,942
	D: 2-3	310	40	40	360	315	441,956	147,3186667	1,473
	D: 3-4	0	40	40	360	0	0	0	0
	D: 4-5	432	40	40	360	315	534,648	178,216	1,782
	D: 5-6	490	40	40	360	315	582,516	194,172	1,941
	C: 1-2	0	40	40	360	0	0	0	0
	C: 5-6	0	40	40	360	0	0	0	0
	B: 1-2	0	40	40	360	0	0	0	0
	B: 5-6	0	40	40	360	0	0	0	0
	A: 1-2	0	40	40	360	0	0	0	0
	A: 5-6	0	40	40	360	0	0	0	0
	1: E-D	647,5	40	40	360	205	679,177	226,3923333	2,264
	1: D-C	428,75	40	40	360	205	475,238	158,4126667	1,584
	1: C-B	0	40	40	360	0	0	0	0
	1: B-A	0	40	40	360	0	0	0	0
	2: E-D	0	40	40	360	0	0	0	0
	2: D-C	300	40	40	360	205	363,352	121,1173333	1,211
	2: C-B	0	40	40	360	0	0	0	0
2: B-A	0	40	40	360	0	0	0	0	
3: E-D	215	40	40	360	315	381,379	127,1263333	1,27	

	4: E-D	647,5	40	40	360	315	720,056	240,0186667	2,400
	5: E-D	647,5	40	40	360	315	720,056	240,0186667	2,400
	5: D-C	295	40	40	360	205	359,235	119,745	1,197
	5: C-B	0	40	40	360	0	0	0	0
	5: B-A	0	40	40	360	0	0	0	0
	6: E-D	647,5	40	40	360	205	679,177	226,3923333	2,264
	6: D-C	428,75	40	40	360	205	475,238	158,4126667	1,584
	6: C-B	0	40	40	360	0	0	0	0
	6: B-A	0	40	40	360	0	0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17 : Ancho para puntales equivalentes del Sexto Piso

fm:	95	kg/cm2	Ec:	250	kg/cm2	Em:	85500	kg/cm2	t:	18	cm	
bC:	30	cm	hC:	30	cm	H:	360	cm				
Hv.abajo:	45	cm	Hv.arriba:	45	cm							

NIVEL	PORTICO	L (cm)	Base de C (cm)	Altura de C (cm)	H (cm)	h (cm)	D (cm)	ANCHOS (cm)	ANCHO (m)
0 a 1	E: 1-2	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
	E: 2-3	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
	E: 3-4	267,5	30	30	360	205	337,018	112,339	1,123
	E: 4-5	450	30	30	360	355	573,171	191,057	1,911
	E: 5-6	652,5	30	30	360	355	742,820	247,607	2,476
	D: 1-2	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
	D: 2-3	262	30	30	360	205	332,670	110,890	1,109
	D: 3-4	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
	D: 4-5	150	30	30	360	355	385,389	128,463	1,285
	D: 5-6	480	30	30	360	355	597,013	199,004	1,990
	C: 1-2	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
	C: 5-6	782,5	30	30	360	355	859,262	286,421	2,864
	B: 1-2	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
B: 5-6	641,5	30	30	360	205	673,459	224,486	2,245	

A: 1-2	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
A: 5-6	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
1: E-D	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
1: D-C	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
1: C-B	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
1: B-A	205	30	30	360	355	409,939	136,646	1,366
2: E-D	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
2: D-C	160,75	30	30	360	205	260,510	86,837	0,868
2: C-B	321,25	30	30	360	205	381,086	127,029	1,270
2: B-A	205	30	30	360	0	205,000	68,333	0,683
3: E-D	547,5	30	30	360	355	652,519	217,506	2,175
4: E-D	550	30	30	360	355	654,618	218,206	2,182
5: E-D	657	30	30	360	355	746,776	248,925	2,489
5: D-C	338,75	30	30	360	355	490,690	163,563	1,636
5: C-B	0	30	30	360	0	0,000	0,000	0,000
5: B-A	205	30	30	360	0	205,000	68,333	0,683
6: E-D	657	30	30	360	205	688,240	229,413	2,294
6: D-C	438,75	30	30	360	205	484,279	161,426	1,614
6: C-B	779	30	30	360	355	856,076	285,359	2,854
6: B-A	641,5	30	30	360	205	673,459	224,486	2,245

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Análisis:

En esta sección se detallará minuciosamente sobre los resultados entregados a partir del modelo de la losa reticulada con la losa membrana, obteniendo así la respuesta del estudio del análisis dinámico modal espectral para finalmente realizar el análisis estático no lineal.

3.5.2.1 Análisis dinámico espectral

Para el estudio del Análisis dinámico modal espectral se tiene como requerimiento principal el uso de la Norma Ecuatoriana de la construcción, lo cual utilizan el espectro de diseño en aceleraciones para determinar los desplazamientos laterales máximos por cada nivel de la estructura que son provocadas por un sismo. Para su desarrollo se debe tener en cuenta las características relacionadas con el tipo de suelo donde se encuentra la edificación, por lo que, la zona a considerar será la ciudad de Machala con un tipo de suelo D, dado que este cumple con la particularidad del tipo de suelo blando.

En este proceso de investigación se desarrollará una comparación entre la NEC-2015 y la CEC 2000 mediante un gráfico de análisis entre ambos espectros de respuestas para ver los comportamientos dinámico espectral que surgen entre ellos, pero cabe destacar que el espectro de diseño será de la NEC 2015. Para la zona de estudio se tendrá en cuenta el tipo de suelo, considerando los conceptos teóricos que compromete cada una de las normas estipuladas.

A continuación, se presenta los datos establecidos por la NEC considerando un tipo de suelo E, cuya ubicación se encuentra en la ciudad de Machala:

Tabla 18. Coeficientes de perfil de suelo

Ciudad	Machala
Tipo de suelo	E
Fa	1.00
Fd	1.60
Fs	1.90

Fuente: Elaboración Propia

Las edificaciones en el territorio ecuatoriano que son de uso habitual, se diseñan para una capacidad de resistencia de tal modo que sea capaz de mantener los desplazamientos laterales provenientes del sismo de diseño cuyo periodo de retorno es de 475 años, teniendo una respuesta inelástica, y la ductilidad de la estructura, además considerando el

concepto del diseño sismorresistente, la estructura tiene la capacidad de disipación de energía, de tal manera que al deformarse ante un movimiento sísmico mantenga su capacidad resistente y así continuamente disipando la energía liberada.

Dado que la estructura de estudio se encuentra ubicada en una zona de alta vulnerabilidad sísmica, estará sujeta a severos movimientos telúricos cuyas deformaciones que experimenta la edificación están más allá del rango elástico, por lo tanto, la reducción del espectro de diseño elástico se verá reducido a un espectro de diseño inelástico, de tal manera que se tiene en cuenta los factores de configuración en planta y elevación (ϕ_p , ϕ_e), coeficiente de importancia (I) y el factor de reducción de resistencia sísmica (R) que es propio del edificio.

Según el CEC, los edificios que son para uso ocupacional de centros de educación tendrán un factor de importancia de 1.3 ($I=1.3$). Los factores de los coeficientes de configuración en planta y elevación les corresponderán un valor de 0.9 y 0.9 respectivamente, debido a que la edificación tiene discontinuidades muy apreciables en el sistema de piso considerando la vista en planta mientras que la irregularidad en elevación se tomó el concepto como piso débil.

Por otra parte, si estimamos los valores de entrada para el espectro de diseño de la Norma Ecuatoria de la Construcción (NEC-2015), podemos decir que el valor del factor de importancia es de 1,3 debido a que se trata de igual forma a un centro de educación, además la irregularidad presentada en elevación tiene un valor de 1 ya que la altura de entrepiso es constante en todos los niveles, mientras que en la configuración en planta tiene un valor de 0.9 y por consiguiente, el valor de resistencia sísmica es de 6 porque se trata de un pórtico especial sismo resistente.

Tabla 19. Parámetros del espectro inelástico CEC-2000, NEC-2015

Estructura Aportada de hormigón Armado		
Configuración Estructural	CEC-2000	NEC-2015
I	1.3	1.3
R	10	6
ϕ_p	0.9	0.9
ϕ_e	0.9	1

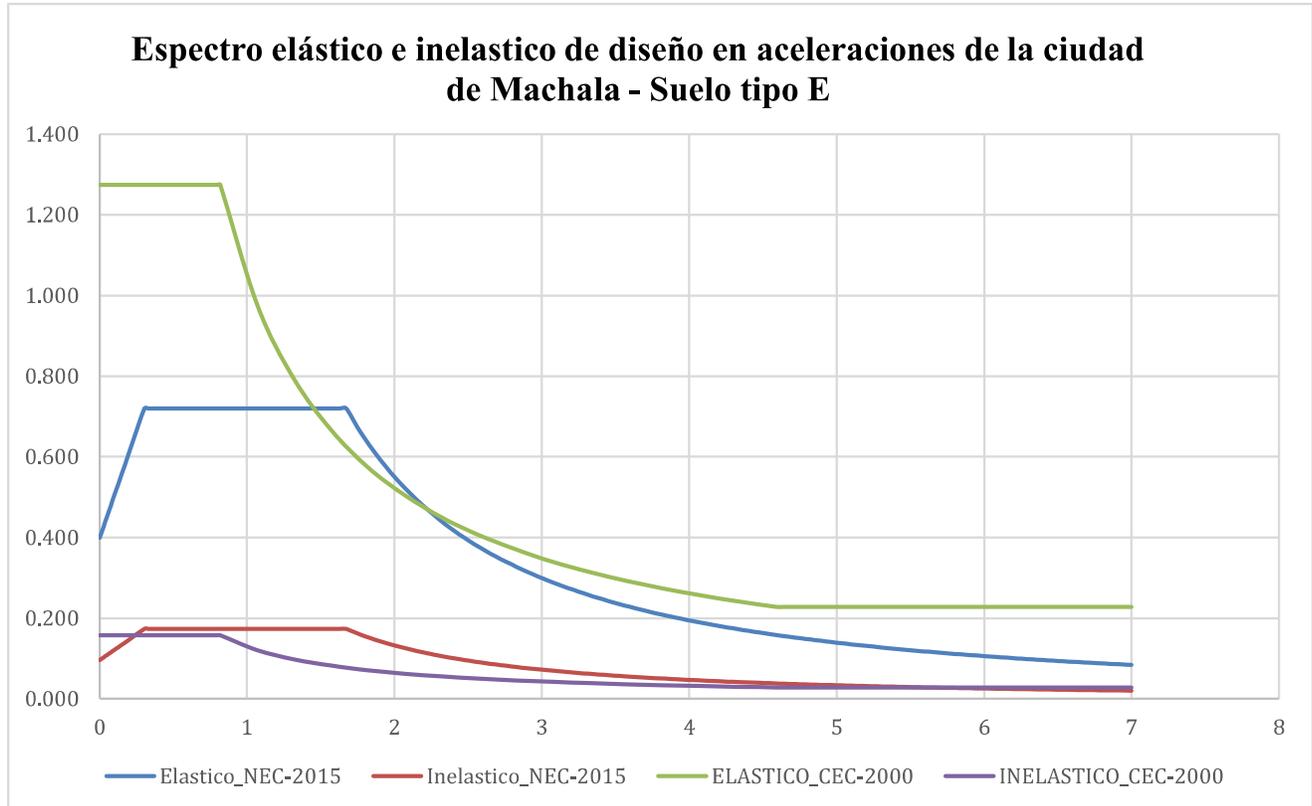
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se procede a graficar el espectro de diseño en aceleraciones para la edificación planteada, tal y como se presenta a continuación:

elástico

Inelástico

Figura 25. Espectro elástico de diseño en aceleraciones de la ciudad de Machala



Fuente: NEC-SE-DS

Uno de los aspectos más importantes a considerar en el estudio de una edificación es la carga sísmica reactiva, para lo cual se utilizará el 100% de la carga muerta, mientras que para la carga viva solo es el 25%.

$$W_R = D + 0.25L$$

Donde:

W_R = Carga sísmica reactiva

D = Carga muerta

L = Carga Viva

Para realizar el estudio del análisis modal, se tomó 21 modos de vibración considerando que por cada piso existe un total de tres modos. A partir de las consideraciones

establecidas se toma en cuenta el periodo calculado por el programa para el posterior ajuste de cortante.

3.5.2.2 Análisis sísmico estático lineal

Para el estudio del análisis sísmico estático lineal se emplea una metodología utilizada en la ingeniería estructural que sirve para evaluar la respuesta de un edificio o estructura ante cargas sísmicas que a partir de los valores que se ha obtenido en el análisis modal toma como entrada en el cálculo para determinar la distribución de fuerzas sísmicas laterales que son afectadas en el edificio debido a un sismo. Este enfoque asume que la respuesta sísmica es proporcional a la aceleración sísmica y se realiza sin considerar la deformación plástica ni la no linealidad material.

En la determinación del factor K, se emplea directamente los periodos de vibración obtenidos en la estructura y según la NEC-SE-DS se lo puede determinar de la siguiente manera.

Tabla 20. Determinación del coeficiente k

Valores de T(s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2
Fuente: NEC-SE-DS	

De tal manera, que para determinar el Coeficiente sísmico se puede utilizar la expresión de la cortante basal. Este parámetro es esencial en el diseño sísmico para garantizar que la estructura sea capaz de resistir las fuerzas sísmicas sin sufrir daños significativos.

$$V = C_s W_R = \frac{I S_a}{R \phi_p \phi_E} * W_R$$

Donde:

V: Cortante basal

C_s: Coeficiente sísmico

I : Factor de Importancia

S_a : Obtenido del espectro de diseño en aceleraciones

φ_p, φ_E : Coeficientes de configuración en planta y elevación

R : Factor de reducción de resistencia sísmica

W_R : Factor de reducción de resistencia sísmica

Finalmente, la edificación debe pasar los rangos mínimos requeridos según la NEC-SE-DS la cual establece que para estructuras regulares la relación entre el cortante basal dinámico y el cortante basal estático no será menor del 80%, mientras que para estructuras irregulares poseen un valor mínimo de 85%, en caso de que la estructura se encuentre por debajo de los requerimientos establecidos de la norma se procede a realizar el ajuste de cortante.

3.5.2.3 Análisis sísmico estático no lineal (Pushover)

Para el procedimiento de este tipo de análisis sísmico estático no lineal se encuentra estipulado en la (ASCE, 2017), sección 7.4.3, para lo cual se tomará en consideración los siguientes aspectos:

- En primer lugar, se tendrá en cuenta la aplicación de los modos superiores de vibración para poder validar este tipo de análisis, de lo cual se denota que la relación entre la cortante producido por el 90% de la masa participante entre el cortante obtenido por el modo fundamental de vibración, no deberá exceder el 130%. Caso contrario, el análisis no lineal estático será permitido siempre y cuando se lo complemente con un análisis no lineal dinámico.
- En segundo Lugar, se tendrá que verificar si la relación de los esfuerzos será menor a la relación máxima de esfuerzos, caso contrario se utilizará el un análisis no lineal dinámico, para lo cual se emplearán las siguientes expresiones si fuesen necesarios:

$$\mu_{\text{strength}} = \frac{S_a}{\frac{V_y}{W}} * C_m$$

Donde:

μ_{strength} : Relación de esfuerzos

S_a : Aceleración obtenida en el espectro de respuesta para el periodo fundamental de la estructura en la dirección de análisis.

V_y : Fuerza de cortante elástica de la estructura en la dirección de análisis.

W : Carga reactiva

C_m : Factor de masa efectiva, obtenido a partir de la siguiente tabla.

Table 21. Valores del factor de masa efectivo C_m

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentrically Braced Frame	Steel Eccentrically Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

Note: C_m shall be taken as 1.0 if the fundamental period, T , in the direction of response under consideration is greater than 1.0 s.

Fuente: ASCE 41-17

$$\mu_{max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + \frac{|\alpha_e|^{-h}}{4}$$

Donde:

μ_{max} : Relación de esfuerzos máximos

Δ_d : No menor que el desplazamiento objetivo, δ_t , o el desplazamiento correspondiente al cortante máximo en la base.

Δ_y : Desplazamiento efectivo de la fuerza cortante de fluencia.

$$h = 1 + 0.15 \ln(T_e)$$

α_e : Relación de pendiente post-rendimiento negativa efectiva

- En Tercer Lugar, para poder realizar el análisis estático no lineal se deberá asignar rotulas plásticas concentradas en los extremos de cada elemento tipo frame, según las observaciones realizadas en el modelo se decidió ubicar al 2% y 98% de la longitud de los mismos, mientras tanto para proceder con del desarrollo del cálculo es necesario poner los aceros correspondientes a los elementos estipulados.
- Finalmente, para el desarrollo del método pushover se asigna un nodo de control en el centro de masa o cerca de los mismo en el último nivel de piso que conforma la estructura.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

Se empieza con el modelo del edificio utilizando los planos estructurales y los datos que se han tomado en campo, además se asignó los factores de agrietamiento a los elementos estructurales para tener resultados más eficaces acorde al comportamiento de la estructura.

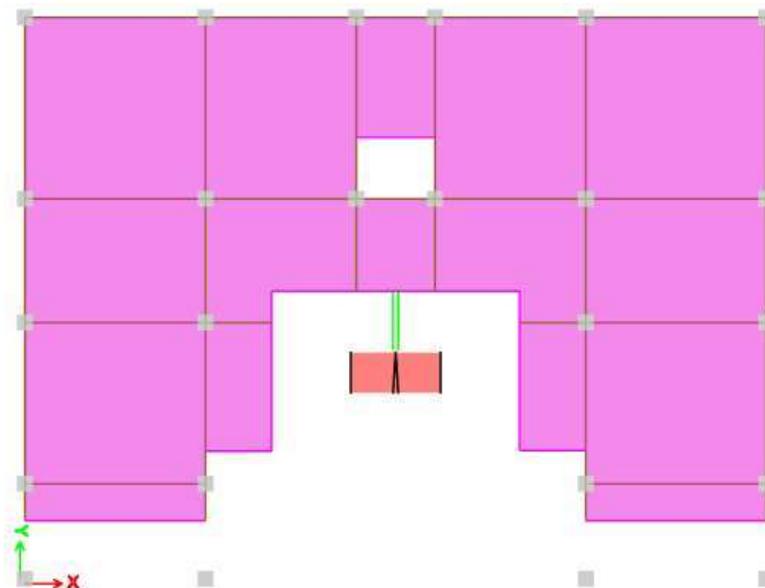
Para el desarrollo de los resultados se tiene dos modelos estructurales tanto de la losa reticulada como la losa tipo membrana correspondiente al edificio del bloque 4 Campus Machala, por lo tanto, se presenta los valores obtenidos en el análisis de las estructuras planteadas:

4.1.1 Edificio de hormigón Armado con losa tipo Membrana

4.1.1.1 Análisis dinámico espectral y sismo estático

Para el estudio del análisis dinámico espectral se empieza considerando un espectro de diseño mediante la norma Ecuatoriana de la Construcción. En este caso se asumió un suelo tipo E de un periodo de retorno de 475 años, por ello como primer paso se deberá determinar los respectivos coeficientes, puesto que la edificación tiene 7 pisos y un piso subterráneo los cuales se considera 21 modos de vibración, los cuales están distribuidos 3 modos de vibración por piso.

Figura 26. - Dirección de análisis – Edificio con losa tipo membrana



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22. Modos de Vibración y masa efectiva - Edificio con losa tipo membrana

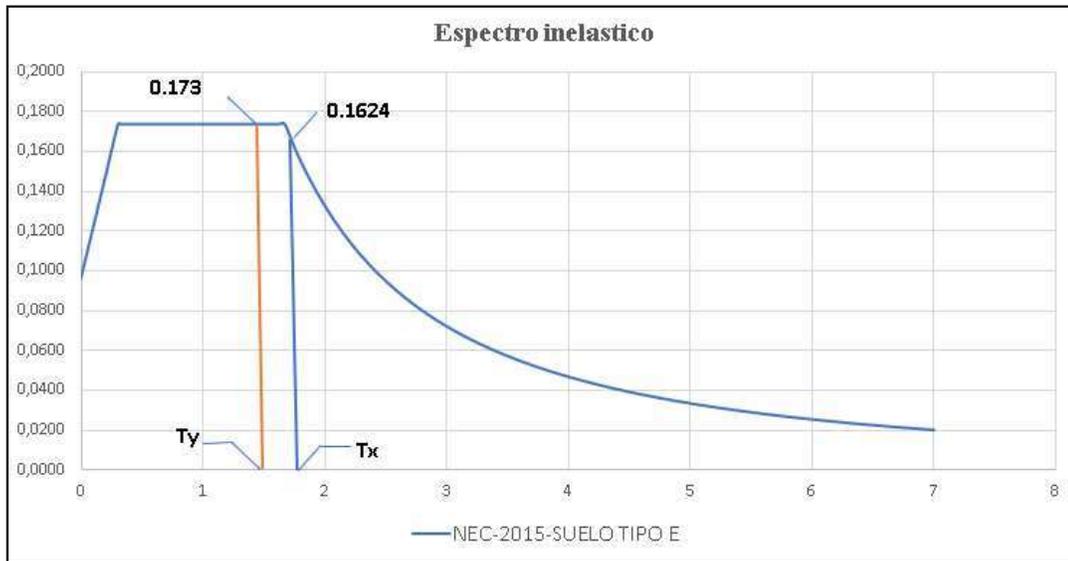
Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
	seg					
1	1,746	0,6166	0,0004	0,6166	0,0004	0,0643
2	1,539	0,0352	0,4444	0,6517	0,4447	0,2123
3	1,517	0,0459	0,2479	0,6976	0,6927	0,3943
4	0,64	0,1133	4,00E-05	0,8109	0,6927	0,0324
5	0,567	0,0191	5,03E-07	0,83	0,6927	0,1273
6	0,521	4,10E-05	0,1418	0,8301	0,8345	0,0001
7	0,369	0,0525	1,76E-05	0,8825	0,8345	0,0221
8	0,332	0,013	0,0004	0,8956	0,8349	0,0518
9	0,303	0	0,0784	0,8956	0,9133	0,0004
10	0,274	0,0013	1,25E-05	0,8968	0,9133	0,0005
11	0,269	2,14E-06	0,0033	0,8968	0,9167	1,67E-05
12	0,233	0,0138	0,0001	0,9107	0,9168	0,0032
13	0,219	0,0083	0,0001	0,919	0,9168	0,0035
14	0,216	0,0023	1,48E-05	0,9213	0,9168	0,0012
15	0,204	0,009	0,0001	0,9303	0,9169	0,0195
16	0,155	0,0023	0,0339	0,9326	0,9508	0,0005
17	0,15	0,0013	0,0027	0,9339	0,9535	0,0002
18	0,146	0,0167	0,0061	0,9506	0,9596	0,0014
19	0,141	0,0038	0,0001	0,9545	0,9596	0,0167
20	0,096	0,0142	0,0006	0,9687	0,9603	0,0108
21	0,094	0,0104	0,0002	0,9791	0,9604	0,0186

Fuente: Elaboración Propia

Dado los resultados obtenidos, se puede observar que el periodo fundamental de vibración en dirección “X” fue de 1,747 s, mientras que en la dirección “Y” fue de 1,539 de esta manera podemos comprobar que los dos primeros modos tienen un comportamiento traslacional. Así mismo, se puede denotar que a partir del doceavo modo de vibración se cumple el 90% de la masa participante satisfaciendo de esta manera uno de los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Según los valores que hemos obtenido anteriormente como los periodos de vibración fundamentales, se procede a realizar el cálculo para determinar el coeficiente sísmico (C), así como el coeficiente k.

Figura 27. Determinación de Sa – Edificio con losa tipo Membrana



Fuente: Elaboración Propia

Por medio de los periodos fundamentales que se han establecido anteriormente, se ha calculado el coeficiente sísmico para la dirección en “X” fue de 0,1624 y para la dirección en “Y” fue de 0,173. Calculando el coeficiente K nos dio un resultado de 1,623 y 1,5195 tanto para el eje “X” como para el eje “Y” respectivamente.

Con los resultados obtenidos previamente se procede a realizar el ajuste de cortante, debido a que tenemos los valores de la cortante basal dinámica y estática tal y como se muestra a continuación:

Tabla 23. Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas

Análisis en “X”		
Sx	381.479	tonf
Sdx	259.892	tonf
Análisis en “Y”		
Sy	407,161	tonf
Sdy	293,703	tonf
Fuente: Elaboración Propia		

A partir de la tabla 16 se calculó para determinar si la estructura necesita el ajuste de cortante dado que la relación entre el cortante dinámico y el estático para edificios irregulares deben ser no menos que el 85%, por lo tanto, en la edificación tuvimos el resultado del 68% para la dirección en “X” y el 72% para la dirección “Y”.

Para realizar el respectivo ajuste se procede a cambiar la gravedad, cuyo proceso se denota a continuación:

$$F_{AX} = 0.85 * \frac{S_x}{S_{Dx}} = 0.85 * \frac{381.479 \text{ ton}}{259.892} = 1.2477$$

$$F_{AY} = 0.85 * \frac{S_y}{S_{Dy}} = 0.85 * \frac{407,161 \text{ ton}}{293,703 \text{ ton}} = 1.1784$$

a) $1.2477 * 980.67 = 1223,543$

b) $1.1784 * 980.67 = 1155,580$

Los valores calculados previamente se añaden en el programa en la asignación donde se ubica la gravedad:

Figura 28. Ajuste de cortante en el eje “X”

Loads Applied			
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	TIPO E	1223,543

Fuente: Elaboración Propia

Figura 29. Ajuste de cortante en el eje “Y”

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	TIPO E	1155,58

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos establecidos previamente, el programa de análisis estructural se puede evidenciar que el ajuste de cortante está por los requerimientos mínimos que en edificios irregulares es del 85%.

Según la NEC-SE-DS se puede realizar el control de los periodos fundamentales de vibración. Para ello, empezamos teniendo en cuenta nuestro periodo fundamental de vibración el cual es de 1,746 seg. Existe dos métodos que están dispuestos a poder determinar el control del periodo:

- Para el primer método, el valor de T se lo puede hallar de la siguiente manera:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

C_t : Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n : Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T : Periodos de vibración

Tabla 24. Coeficientes para el cálculo del periodo

Tipo de estructura	C_t	α
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción)

Se obtiene como resultado:

$$T = (0.055) * (22,15)^{0.9}$$

$$T = 0,8937 \text{ segundos}$$

El método 2 indica que no tiene que ser mayor a un 30% del periodo obtenido por el método 1.

$$T = 1.30 * (0,8937 \text{ segundos})$$

$$T = 1.1618 \text{ s}$$

Periodo de vibración en dirección "X" **1.746 s** > 1.3 T(1.1618 s)

Periodo de vibración en dirección "Y" **1.539 s** > 1.3 T(1.1618 s)

Con los resultados expuestos sobre los periodos correspondientes a las direcciones de análisis no superan el resultado obtenido por el método 1, de tal manera que hemos calculado dicha verificación de que la estructura no cumple con los estándares mínimos, pero tenemos que destacar que este edificio se está llevando un estudio minucioso para corresponder la filosofía de diseño.

4.1.1.2 Cálculos de los desplazamientos

Se realiza este cálculo para determinar su máximo desplazamiento que se ha generado en ambas direcciones tanto en "X" como en "Y", obteniendo los siguientes resultados ilustrados en la siguiente tabla.

Para el sismo dinámico en la dirección "X":

Tabla 25. Desplazamientos para el Sismo dinámico en X

Desplazamiento de piso para Sismo dinámico en X			
Planta	Altura (cm)	X (cm)	Y (cm)
AZOTEA	2215	25,5948	12,8664
5ta. Planta	1860	21,0561	10,5183
4ta. Planta	1500	16,21	6,3307
3era. Planta	1140	10,4438	3,8764
2da. Planta	780	5,4931	1,9136
1era. Planta	420	1,8727	0,6504
Planta Baja	60	0,1761	0,0259
Planta de Cimentación	-230	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 30. Gráfica de desplazamientos para el Sismo dinámico en X



Fuente: Elaboración Propia

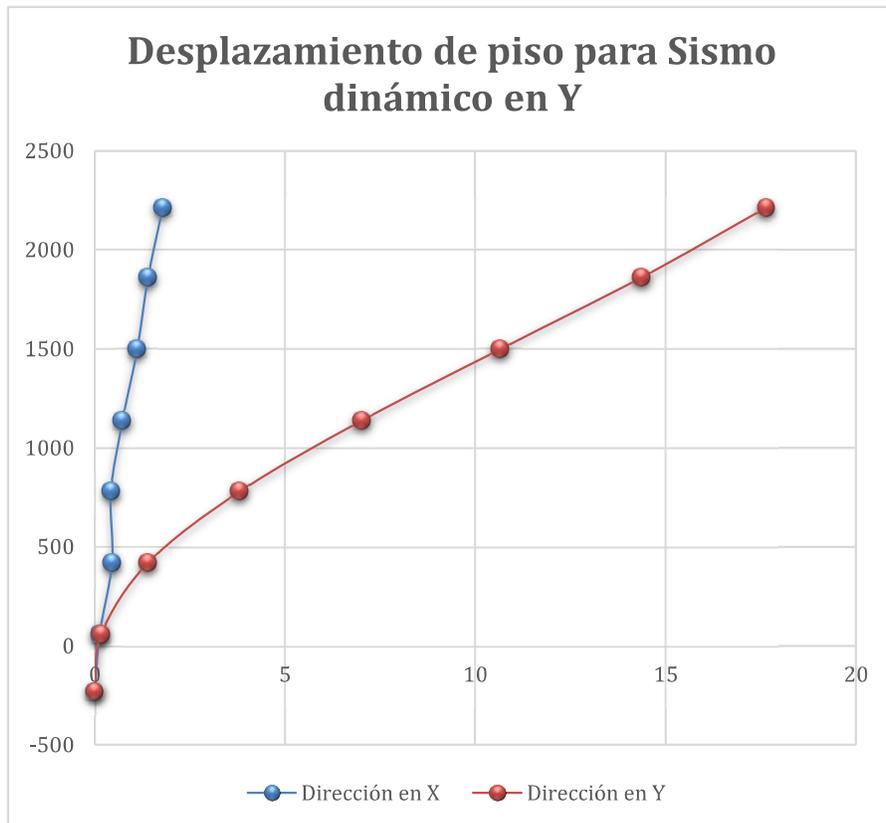
Para el sismo dinámico en la dirección “Y”:

Tabla 26. Desplazamientos para el Sismo dinámico en Y

Desplazamiento de piso para Sismo dinámico en Y			
Planta	Altura (cm)	X (cm)	Y (cm)
AZOTEA	2215	1,7915	17,6612
5ta. Planta	1860	1,4031	14,3747
4ta. Planta	1500	1,1161	10,6642
3era. Planta	1140	0,7327	7,032
2da. Planta	780	0,4225	3,8122
1era. Planta	420	0,4497	1,4074
Planta Baja	60	0,1241	0,1703
Planta de Cimentación	-230	0	0

Fuente: Elaboración Propio

Figura 31. Gráfica de desplazamientos para el Sismo dinámico en Y



Fuente: Elaboración Propia

Se ha evidenciado que los desplazamientos en ambas direcciones del sismo dinámico promueven un comportamiento traslacional, tal como se ha demostrado inicio en los modos de vibración por lo tanto queda verificado, debido a que esto corrobora los resultados del análisis modal.

4.1.1.3 Calculo de derivas de entrepiso

Luego de haber hecho el análisis dinámico modal espectral se procede a determinar la deriva inelástica, para notar si nos encontramos dentro el rango mínimo requerido y se usará como límites la tabla 20. Por consiguiente, se utilizará la siguiente expresión:

$$\Delta_i = 0,75 * R * \Delta_E$$

Tabla 27. Valores Δ_M máxima

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón Armado, estructuras metálicas y de madera.	0.02
De mampostería	0.01

Fuente: NEC-SE-DS, 2015

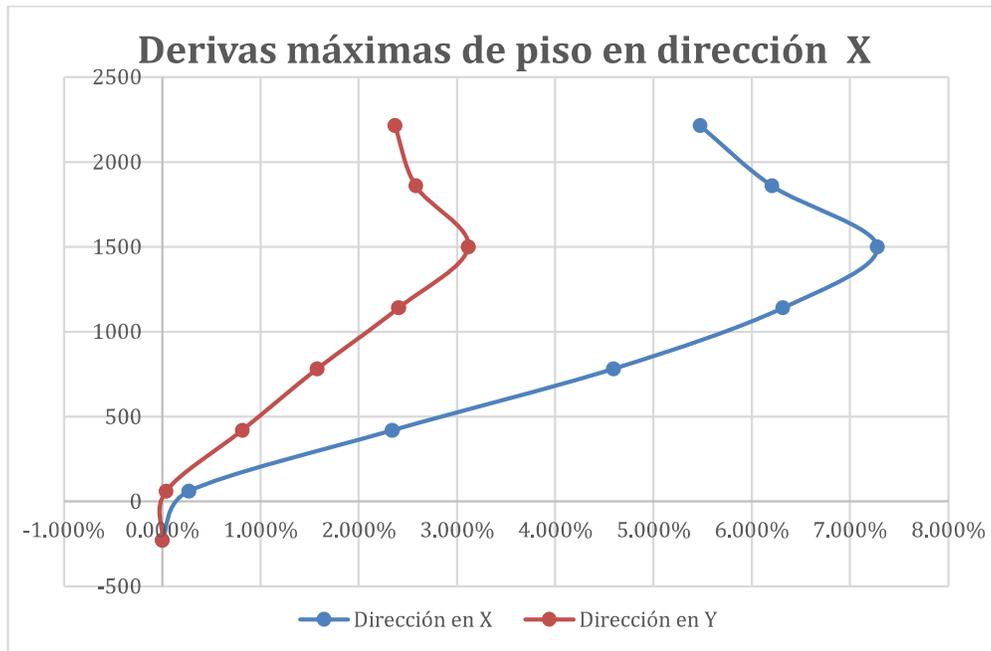
En el modelado del edificio se presenta los resultados correspondientes a las derivas elásticas e inelásticas, las cuales se denotan a continuación:

Tabla 28. Derivas para sismo dinámico en dirección X

Derivas para sismo dinámico en X					
Planta	Altura (cm)	Derivas elásticas		Derivas inelásticas	
		X	Y	X	Y
AZOTEA	2215	5,898%	0,789%	5,476%	2,369%
5ta. Planta	1860	6,621%	0,945%	6,206%	2,579%
4ta. Planta	1500	7,691%	1,004%	7,280%	3,115%
3era. Planta	1140	6,765%	0,738%	6,315%	2,405%
2da. Planta	780	5,086%	0,139%	4,591%	1,576%
1era. Planta	420	2,370%	0,077%	2,341%	0,813%
Planta Baja	60	0,320%	0,042%	0,273%	0,040%
Planta de Cimentación	-230	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 32: Gráfica de las derivas máximas inelásticas para el sismo dinámico en X



Fuente: Los Autores

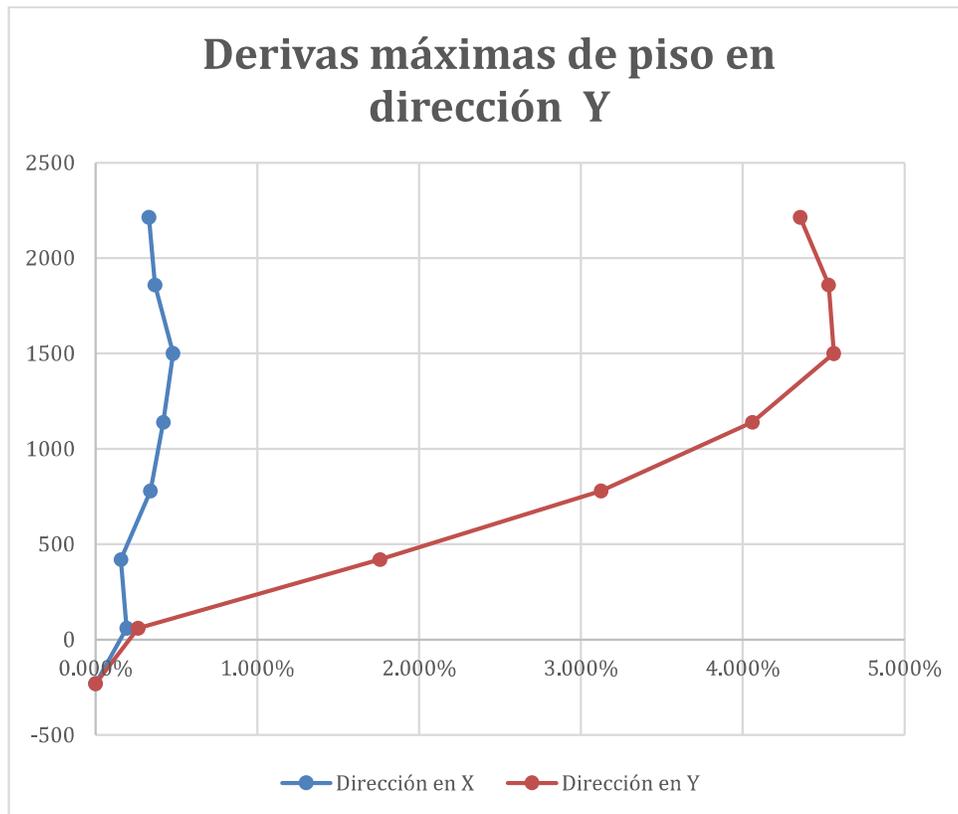
En el estudio de la deriva inelástica es importante estar entre los límites permisibles que han sido establecidos por la NEC siendo el 2% como el porcentaje máximo en la que puede llegar un edificio ante algún cualquier evento sísmico, por lo tanto, según los datos mostrados anteriormente nos damos que la verificación por deriva no cumple teniendo resultados superiores al rango mínimo requerido dando que la deriva máxima se encuentra en la cuarta planta con un resultado del 7.28% , de tal forma que se tomará medidas pertinentes para el análisis de esta edificación. Para el Sismo dinámico en la dirección Y (Ver tabla 21 y Figura 32)

Tabla 29. Derivas máximas elásticas e inelásticas para el sismo dinámico en Y

Derivas para sismo dinámico en Y					
Planta	Altura (cm)	Derivas elásticas		Derivas inelásticas	
		X	Y	X	Y
AZOTEA	2215	0,133%	5,299%	0,330%	4,354%
5ta. Planta	1860	0,321%	5,652%	0,369%	4,532%
4ta. Planta	1500	0,097%	5,667%	0,480%	4,563%
3era. Planta	1140	0,067%	5,011%	0,421%	4,060%
2da. Planta	780	0,182%	3,813%	0,340%	3,125%
1era. Planta	420	0,092%	2,129%	0,158%	1,759%
Planta Baja	60	0,229%	0,311%	0,193%	0,264%
Planta de Cimentación	-230	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. Gráfica de las derivas máximas inelásticas para el sismo dinámico en Y



Fuente: Elaboración Propia

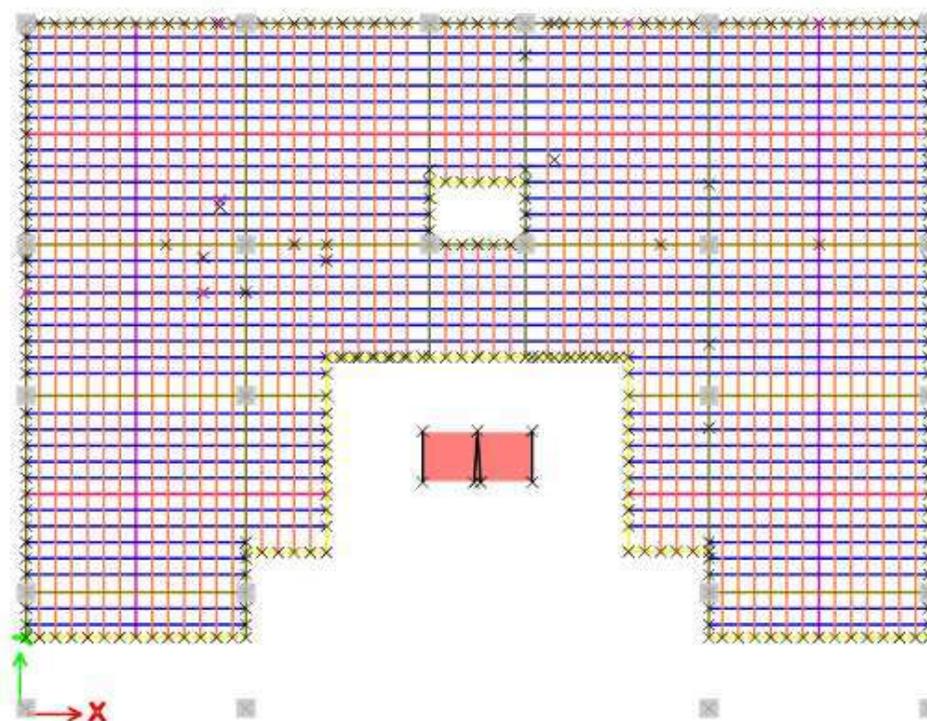
Para el eje “Y” obtuvimos una deriva máxima inelástica del 4.563% situado en la cuarta planta. Por tal motivo, para la verificación de las derivas se puede concluir que para ambas direcciones no cumple, es decir que pasa el 2% que en este caso vendría ser como el factor de seguridad de la edificación con losa tipo membrana.

4.1.2 Edificio de hormigón Armado con losa tipo reticulada

4.1.2.1 Análisis dinámico espectral y sismo estático

Para realizar el análisis dinámico espectral en el edificio con losa reticulada, se emplea la misma metodología utilizada en el modelo anterior, pero en este diseño se toma la teoría de los puntales los cuales no poseen peso ni masa, sino que solo aporta rigidez a la estructura, por lo tanto, se tomó los 21 modos de vibración para el análisis modal.

Figura 34. Dirección de análisis – Edificio con losa tipo reticulada



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30. Modos de Vibración y masa efectiva - Edificio con losa tipo reticulada

Mode	Period sec	Ux	Uy	SumUX	SumUY	Rz
1	0,562	0,5004	0,0626	0,5004	0,0626	0,1791
2	0,507	0,0998	0,6741	0,6002	0,7367	1,57E-05
3	0,425	0,1885	0,0327	0,7887	0,7694	0,524
4	0,31	0,0384	0,0009	0,8271	0,7703	0,0242
5	0,233	0,0086	0,0452	0,8357	0,8156	0,0845
6	0,206	0,0426	0,0159	0,8783	0,8314	0,01
7	0,192	0,029	0,0001	0,9073	0,8315	0,0296
8	0,184	0,0006	0,0042	0,908	0,8357	0,0018
9	0,179	0,024	0,001	0,932	0,8367	0,013
10	0,161	0,0018	0,0767	0,9338	0,9134	0,0214
11	0,135	0,0004	0,0119	0,9342	0,9253	0,04
12	0,119	0,0003	0,002	0,9345	0,9273	0,0003
13	0,109	0,0166	0,0003	0,9511	0,9276	0,0049
14	0,095	0,0003	0,0268	0,9514	0,9544	0,0046
15	0,079	0,0215	0,0014	0,9729	0,9558	0,0006
16	0,078	0,0009	0,0089	0,9738	0,9647	0,0042
17	0,063	5,01E-07	0,0112	0,9738	0,9759	0,0112
18	0,061	0,0101	2,89E-06	0,9839	0,9759	0,0011

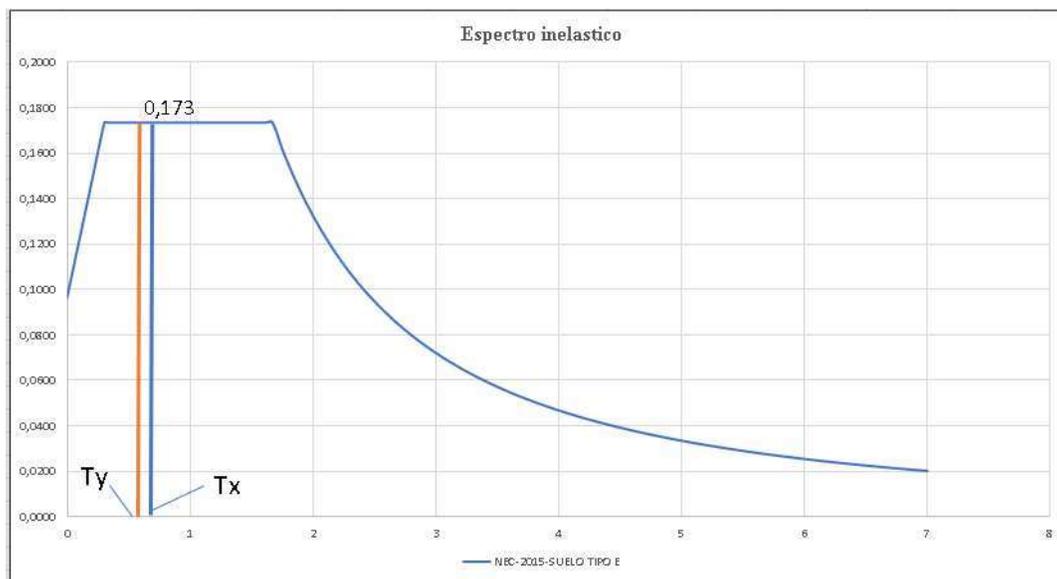
19	0,048	0,0007	0,0101	0,9846	0,986	0,0001
20	0,025	0,0034	0,0006	0,988	0,9866	0,0001
21	0,014	0,0001	0,0034	0,9881	0,99	0,0012

Fuente: Elaboración Propia

Dado los resultados obtenidos, se puede observar que el periodo fundamental de vibración en dirección “X” fue de 0,562 s, mientras que en la dirección “Y” fue de 0,507 s , de esta manera podemos comprobar que los dos primeros modos tienen un comportamiento traslacional, pero en este modelo tiene agregado los puntales que prácticamente aportan rigidez a la estructura, si se sabe que ambos modelos tanto de la losa reticulada como la losa membrana tienen una distribución de cargas similares, entonces los resultados de los periodos fundamentales de vibración tienen una diferencia que indican la rigidez de la estructura.

De esta misma manera, se puede denotar que en la dirección “X” a partir del septimo modo de vibración se cumple el 90% y en la dirección “Y” se cumple a partir del decimo periodo, satisfaciendo los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Dado los valores que hemos obtenido anteriormente como los periodos de vibración, se procede a realizar el cálculo para determinar el coeficiente sísmico (C).

Figura 35. Determinación de S_a – Edificio con losa tipo reticulada



Fuente: Elaboración propia

Por medio de los periodos fundamentales que se han establecido anteriormente, se ha calculado el coeficiente sísmico para la dirección en “X” fue de 0,173 y para la dirección en “Y” fue de 0,173. Luego de haber determinado el coeficiente sísmico procedemos a

calcular el coeficiente K y nos dio un resultado de 1,031 y 1,0035 tanto para el eje “X” como para el eje “Y” respectivamente.

Con los resultados obtenidos previamente se procede a realizar el ajuste de cortante, debido a que tenemos los valores de la cortante basal dinámico y estático tal como se muestra a continuación:

Tabla 31. Fuerzas cortantes estáticas y dinámicas

Análisis en “X”		
Sx	408.5102	tonf
Sdx	257.6779	tonf
Análisis en “Y”		
Sy	408.5808	tonf
Sdy	299.4136	tonf
Fuente: Elaboración Propia		

A partir de la tabla 23 se calculó para determinar si la estructura necesita el ajuste de cortante mediante la relación entre el cortante dinámico y el estático para edificios irregulares deben ser no menos que el 85%, por lo tanto, en la edificación tuvimos el resultado del 63% para la dirección en “X” y el 73% para la dirección “Y”.

Para realizar el respectivo ajuste se procede a cambiar la gravedad, cuyo proceso se denota a continuación:

$$F_{AX} = 0.85 * \frac{S_x}{S_{Dx}} = 0.85 * \frac{408.5102 \text{ tonf}}{257,6779 \text{ tonf}} = 1.34755$$

$$F_{AY} = 0.85 * \frac{S_y}{S_{Dy}} = 0.85 * \frac{408,5808 \text{ tonf}}{299,4136 \text{ tonf}} = 1.15991$$

a) $1.34755 * 980.67 = 1321.5019$

b) $1.15991 * 980.67 = 1137,4889$

Los valores calculados previamente se añaden en el programa en la asignación donde se ubica la gravedad:

Figura 36 - Ajuste de cortante en el eje “X”

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	S. TIPO E INELASTICO	1321,501

Fuente: Elaboración Propia

Figura 37. - Ajuste de cortante en el eje “Y”

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	S. TIPO E INELASTI...	1137.492

Fuente: Elaboración Propia

En el diseño de un edificio es importante reconocer las normas que siempre están vigente en todo momento. Ahora, con los datos establecidos previamente, el programa de análisis estructural se puede evidenciar que el ajuste de cortante está por los requerimientos mínimos que en edificios irregulares es del 85%.

Según la NEC-SE-DS se puede realizar el control de los periodos fundamentales de vibración. Para ello, empezamos teniendo en cuenta nuestro periodo fundamental de vibración el cual es de 0.562 seg. Existe dos métodos que están dispuestos a poder determinar el control del periodo.

- Para el primer método, el valor de T se lo puede hallar de la siguiente manera:

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

C_t: Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n: Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T: Periodos de vibración

Tabla 32. Coeficientes para el cálculo del periodo

Tipo de estructura	C _t	α
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción)

Se obtiene como resultado:

$$T = (0.055) * (22,15)^{0.75}$$

$$T = 0,56 \text{ segundos}$$

El método 2 indica que no tiene que ser mayor a un 30% del periodo obtenido por el método 1.

$$T = 1.30 * (0,56 \text{ segundos})$$

$$T = 0.73 \text{ s}$$

Periodo de vibración en dirección "X" **0.562 s** < 1.3 T(0.73 s)

Periodo de vibración en dirección "Y" **0.507 s** < 1.3 T(0.73 s)

Según los resultados que se han expuestos anteriormente podemos decir que los periodos correspondientes a las direcciones de análisis superan el resultado obtenido por el método 1, de tal manera que hemos calculado dicha verificación de que la estructura cumple con los estándares mínimos, pero tenemos que destacar que este edificio se está llevando un estudio minucioso para corresponder la filosofía de diseño.

4.1.2.2 Cálculos de los desplazamientos

En esta sección es muy importante saber los tipos de materiales que componen nuestra edificación, así también los elementos estructurales y no estructurales. Ahora se realiza este cálculo para determinar su máximo desplazamiento que se ha generado en ambas direcciones tanto en "X" como en "Y", obteniendo los siguientes resultados ilustrados en la siguiente tabla.

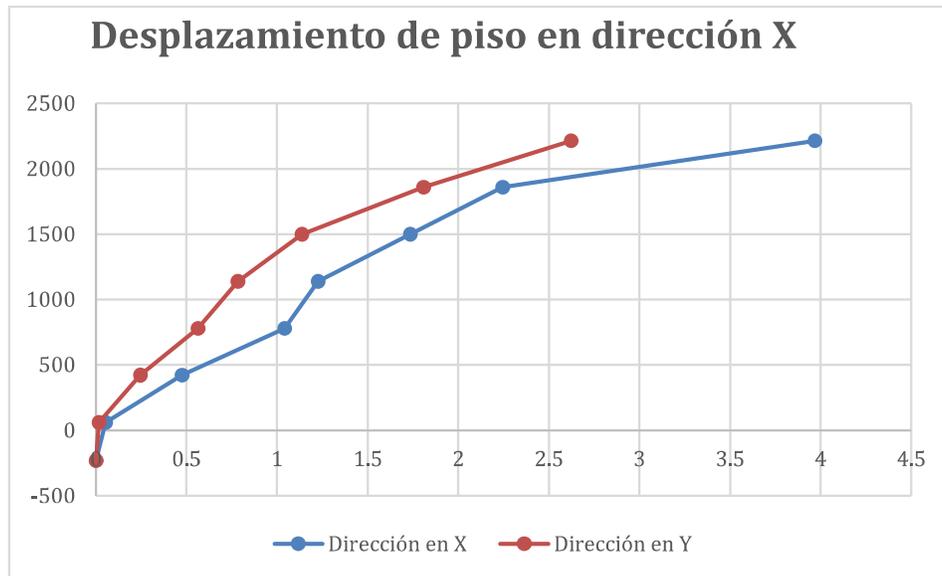
Para el sismo dinámico en la dirección "X":

Tabla 33. Desplazamientos para el Sismo dinámico en X

Desplazamiento de piso para Sismo dinámico en X			
Planta	Altura (cm)	X (cm)	Y (cm)
AZOTEA	2215	3,9685	2,6218
5ta. Planta	1860	2,246	1,8084
4ta. Planta	1500	1,7344	1,1374
3era. Planta	1140	1,2268	0,7829
2da. Planta	780	1,0404	0,5626
1era. Planta	420	0,4758	0,2455
Planta Baja	60	0,0531	0,0169
Planta de Cimentación	-230	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 38. Gráfica de desplazamientos para el Sismo dinámico en X



Fuente: Elaboración Propia

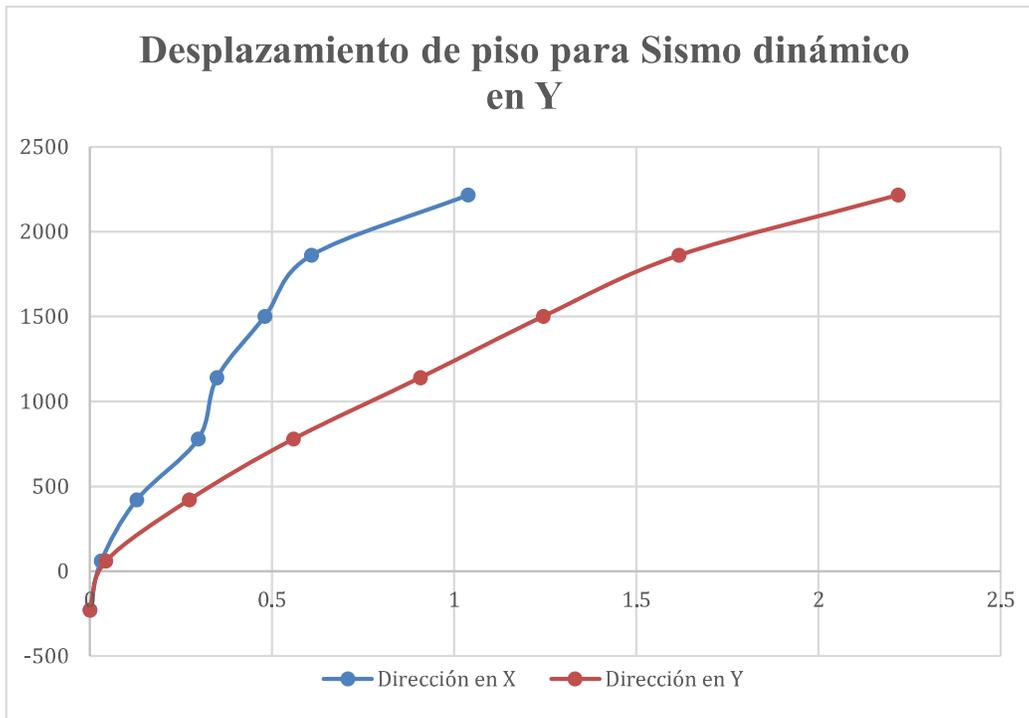
Para el sismo dinámico en la dirección “Y”:

Tabla 34. Desplazamientos para el Sismo dinámico en Y

Desplazamiento de piso para Sismo dinámico en Y			
Planta	Altura (cm)	X (cm)	Y (cm)
AZOTEA	2215	1,039	2,2187
5ta. Planta	1860	0,6084	1,6176
4ta. Planta	1500	0,4804	1,2448
3era. Planta	1140	0,3496	0,9074
2da. Planta	780	0,2987	0,559
1era. Planta	420	0,129	0,2732
Planta Baja	60	0,0313	0,0444
Planta de Cimentación	-230	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 39. Gráfica de desplazamientos para el Sismo dinámico en Y



Fuente: Elaboración Propia

Se ha evidenciado que los desplazamientos en ambas direcciones del sismo dinámico promueven un comportamiento traslacional, tal como se ha demostrado inicio en los modos de vibración por lo tanto queda verificado, debido a que esto corrobora los resultados del análisis modal.

4.1.2.3 Cálculo de derivas de entrepiso

En toda edificación es importante saber que la estructura se tendrá que calcular la deriva inelástica, para notar si nos encontramos dentro el rango mínimo requerido y se usará como límites establecidos por el NEC-2015. Por consiguiente, se utilizará la siguiente expresión:

$$\Delta_i = 0,75 * R * \Delta_E$$

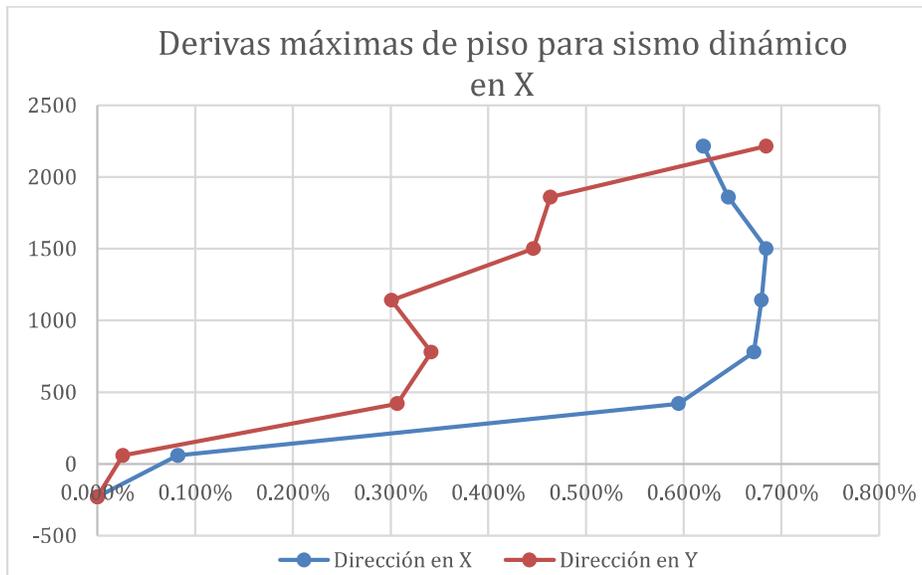
En el modelado del edificio se presenta los resultados correspondientes a las derivas elásticas e inelásticas, las cuales se denotan a continuación:

Tabla 35: Derivas para sismo dinámico

Derivas para sismo dinámico en X					
Planta	Altura (cm)	Derivas elásticas		Derivas inelásticas	
		X	Y	X	Y
AZOTEA	2215	0,547%	0,257%	0,620%	0,684%
5ta. Planta	1860	0,608%	0,165%	0,646%	0,464%
4ta. Planta	1500	0,572%	0,136%	0,684%	0,446%
3era. Planta	1140	0,295%	0,071%	0,679%	0,301%
2da. Planta	780	0,622%	0,138%	0,672%	0,342%
1era. Planta	420	0,563%	0,107%	0,595%	0,307%
Planta Baja	60	0,080%	0,014%	0,082%	0,026%
Planta de Cimentación	-230	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 40. Gráfica de la deriva inelástica para el Sismo dinámico en Y



Fuente: Elaboración Propia

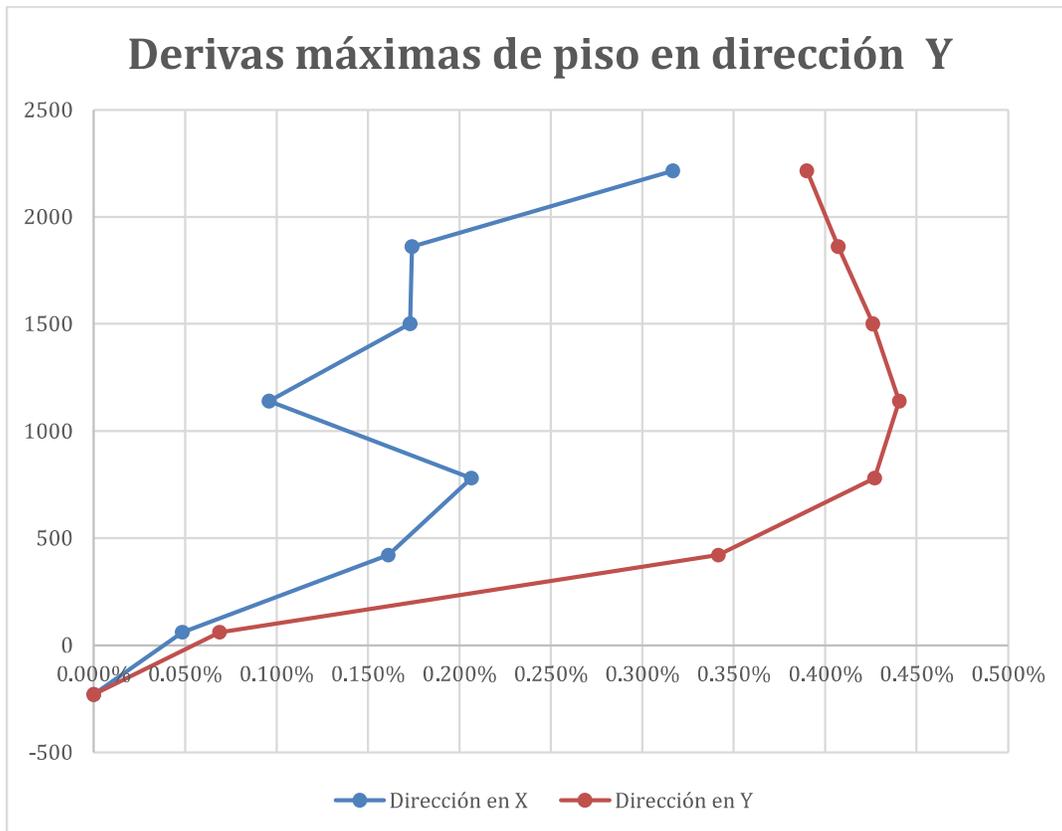
Para verificar si la estructura tiene un nivel de confiabilidad aceptable, el estudio de la deriva inelástica es la mejor opción y por ello es importante estar entre los límites permisibles que han sido establecidos por la NEC siendo el 2% como el porcentaje máximo en la que puede llegar un edificio ante algún cualquier evento sísmico, por lo tanto, según los datos mostrados anteriormente se puede constatar que el edificio con losa reticulada posee una deriva inelástica máxima de 0.441 % siendo este el más crítico, por lo tanto el edificio se encuentra calificado entre los rangos mínimos del 2%.

Tabla 36. Derivas máximas elásticas e inelásticas para el sismo dinámico en Y

Derivas para sismo dinámico en Y					
Planta	Altura (cm)	Derivas elásticas		Derivas inelásticas	
		X	Y	X	Y
AZOTEA	2215	0,286%	0,659%	0,317%	0,390%
5ta. Planta	1860	0,071%	0,445%	0,174%	0,407%
4ta. Planta	1500	0,044%	0,472%	0,173%	0,426%
3era. Planta	1140	0,024%	0,497%	0,096%	0,441%
2da. Planta	780	0,055%	0,475%	0,207%	0,427%
1era. Planta	420	0,051%	0,398%	0,161%	0,342%
Planta Baja	60	0,066%	0,078%	0,049%	0,069%
Planta de Cimentación	-230	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%

Fuente: Elaboración Propia

Figura 41: Gráfica de las derivas máximas inelásticas para el sismo dinámico en Y



Fuente: Elaboración Propia

Para el estudio de análisis se tomó la dirección del eje “Y” donde obtuvimos una deriva máxima inelástica del 0.441 % situado en la tercera planta. Por tal motivo, para la verificación de las derivas se puede concluir que para ambas direcciones se cumple

cuando hablamos de losa reticuladas, es decir que se mantiene por debajo del 2% que en este caso vendría a que el edificio se encuentra en consideraciones aceptables.

4.1.2.4 Análisis estático no lineal (Pushover)

Según lo descrito anteriormente, para el análisis no lineal estático se agregaron rotulas plásticas, situadas específicamente al 98% y 2% de la longitud de todo el elemento. Además, se tienen que realizar un estudio minucioso de la losa tipo membrana, pero antes de llevar a cabo este análisis, se hará un cálculo utilizando los modos superiores de vibración, en donde se tomará en cuenta únicamente en el análisis modal del edificio.

A continuación, se hará la verificación de la influencia de los modos superiores de vibración del edificio con losa tipo membrana.

Tabla 37. Cortantes de piso para cada dirección

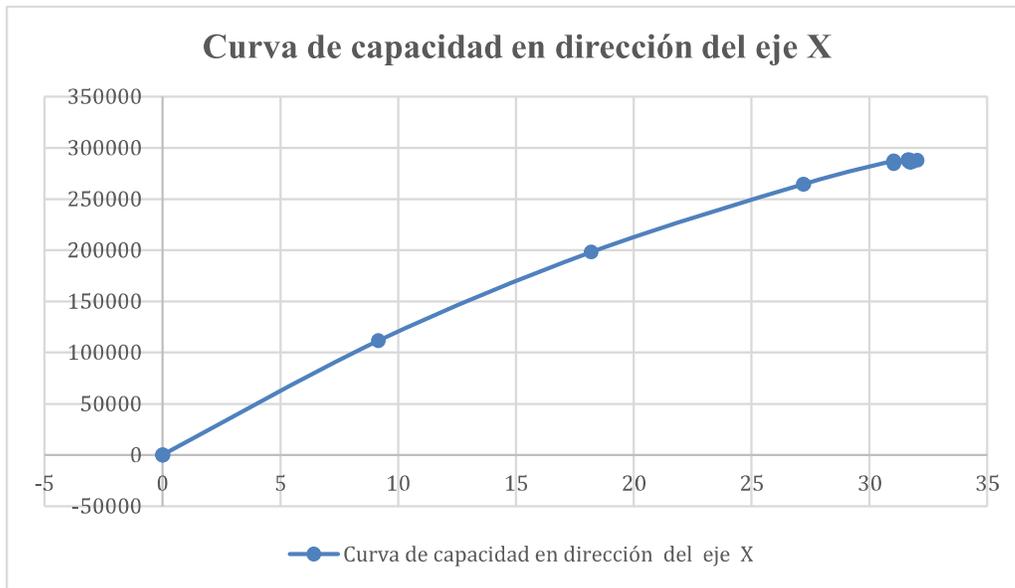
Modos	Periodo (seg)	UX	UY	Sa (g)	Vx (Ton)	Vy (Ton)
1	1,747	0,6166	0,0004	0,674	954,1893	0,6190
2	1,539	0,0352	0,4444	0,72	58,1897	734,6452
5	0,567	0,0191	0,0000	0,72	31,5745	0,0008
6	0,521	0,0000	0,1418	0,72	0,0678	234,4120
11	0,269	0,0000	0,0033	0,683	0,0034	5,1749
12	0,233	0,0138	0,0001	0,635	20,1198	0,1458
Fuente: Elaboración propia				Relación	1,12	1,33

Según los datos obtenidos, la estructura cumple con la relación de cortantes en el eje X mientras que para el eje Y la estructura sobrepasa el 130% de control establecido por la ASCE-41.

4.1.2.5 Curva de capacidad

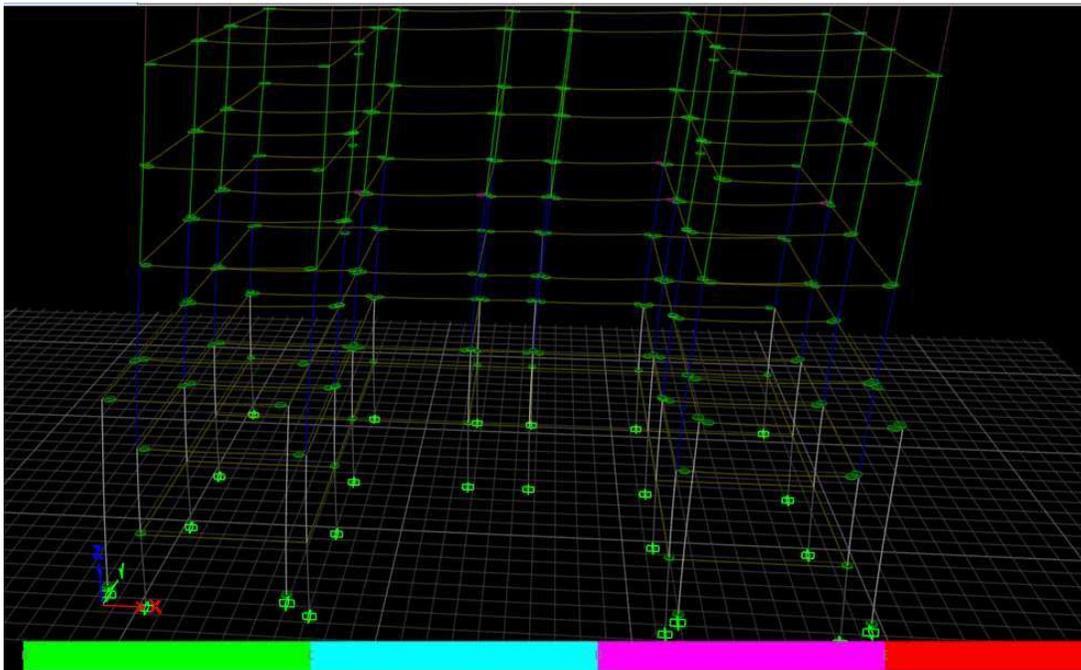
En la presentación de la curva de capacidad se mostrará específicamente la resistencia del edificio hasta llegar a un punto que se desploma. A continuación, se agregan los resultados de la edificación con losa tipo membrana.

Figura 42: Gráfica de la curva de capacidad en eje de las X-X



Fuente: Elaboración Propia

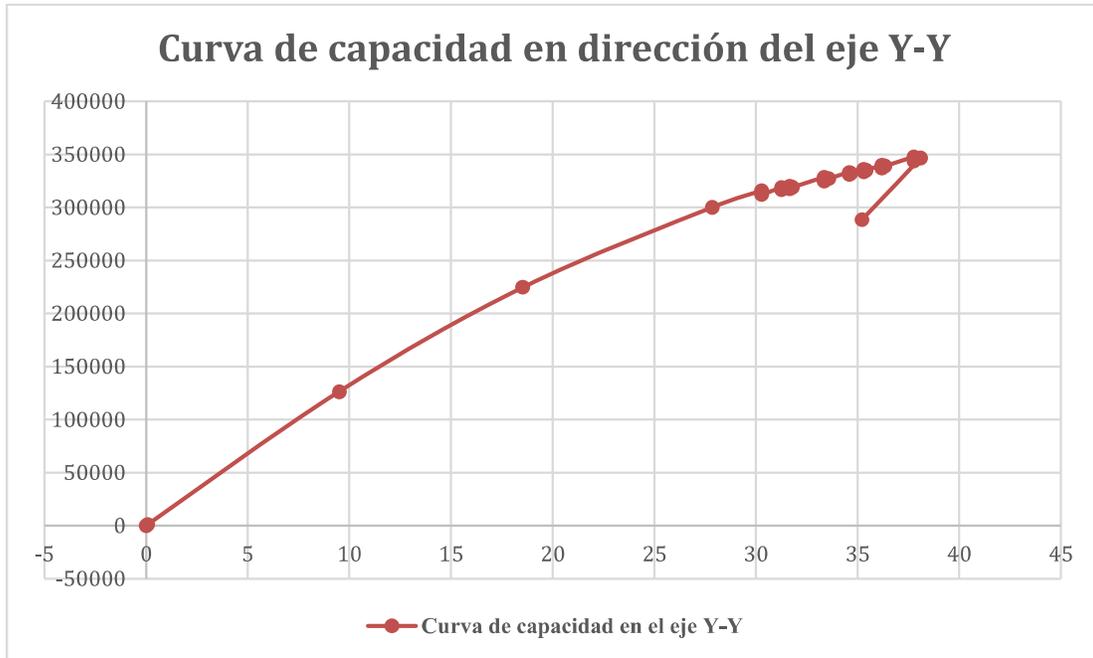
Figura 43. Formación de rotulas plásticas para un sismo en dirección de X



Fuente: Elaboración Propia

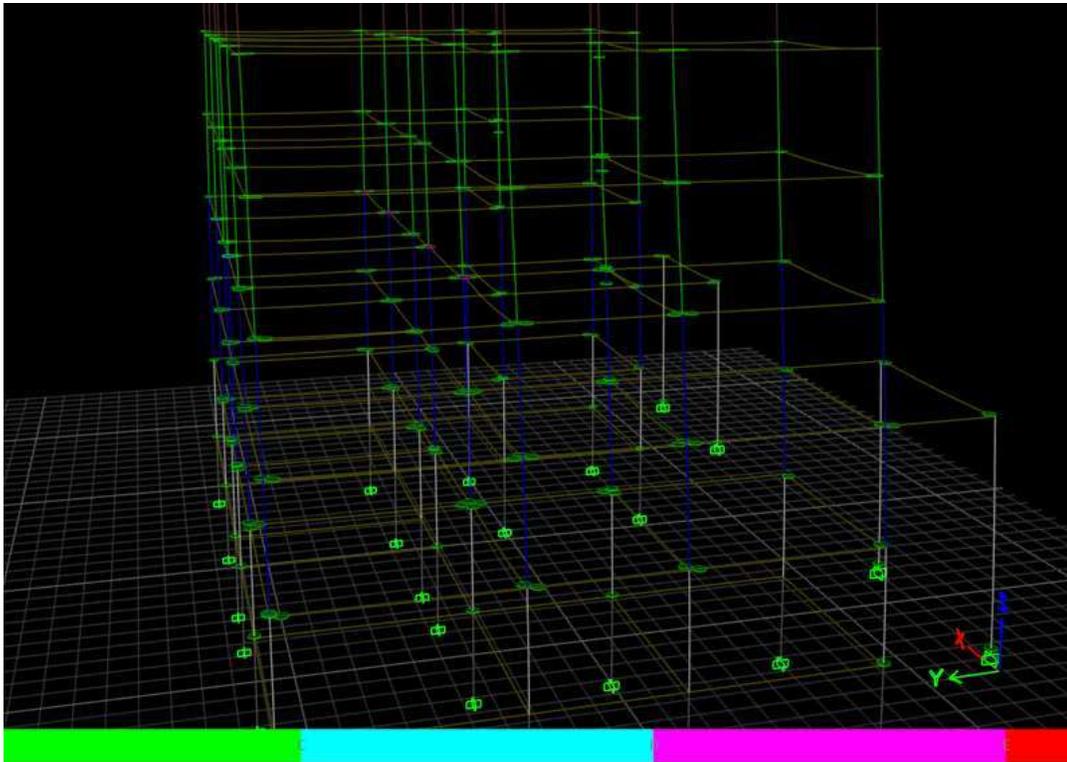
Para el sismo en dirección Y en cambio se obtuvo (Ver Figura 43 y Figura 44):

Figura 44: Gráfica de la curva de capacidad en eje de las Y-Y



Fuente: Elaboración Propia

Figura 45. Formación de rotulas plásticas para un sismo en dirección de Y



Fuente: Elaboración Propia

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La edificación que se ha evaluado presentó varios inconvenientes al principio del trabajo partiendo desde los planos estructurales que fueron ejecutados en obra, algunos elementos estructurales que han sido previamente revisados en campo dejó mucho de que hablar, secciones muy pequeñas para cargas tan grandes, las observaciones de revisión son notorias, columna rotas, fisuración en todas parte, paredes derrumbadas, cielo raso desplomado o inclusive hay una losa inclinada que luego del sismo que se suscitó el 18 de marzo del 2023 quedó prácticamente inestable que al caminar allí se siente la vibración de la losa y hasta un posible colapso.
- Para el estudio del edificio se optó por hacer dos diseños diferentes una edificación con losa tipo membrana y otra con losa reticulada, la importancia de realizar esto fue por tener datos más certeros y eficaces de porque el edificio tienes graves problemas de diseño, no cabe la menor duda que el espectro de diseño que se tomó para el análisis fue la NEC del 2015 con un suelo tipo E, pero de todas formas, se encontró la necesidad de poder definir un nuevo espectro que fue el CEC 2000, porque los planos estructurales dispuestos fueron elaborados en el año 2009 y su puesta en marcha en la obra fue alrededor del año 2016.
- La utilización de los dos modelos fue fundamental para poder notar la diferencia de los periodos tanto para la losa membrana como para la losa reticulada, debido a que ambos modelos se han distribuido perfectamente las cargas, entonces, al hacer un análisis lineal es lógico denotar que las cargas tanto vivas como muertas son casi similares para ambos casos. Reconociendo perfectamente la utilización del software en la edificación se optó poner un espesor de 1 mm en la membrana para que me desprecie el peso y así poder corresponder los resultados en ambos modelos.
- En el modelado del edificio se presentó una cubierta, entonces en los paneles que lo conformaba se agregó una carga uniforme para poder tener el peso. Además, es importante reconocer que teniendo los dos diseños podemos hacer una

comparación eficaz en cuestión de las derivas de piso, porque los resultados que me arroja el programa con el diseño de la losa reticulada sin puntales en consideración a las derivas deben estar cercano a las respuestas del edificio con losa tipo membrana, en caso de que sea podemos decir que nuestros dos diseños están bien elaborados.

- Para el diseño del edificio se toma en consideración que el piso subterráneo no va a aportar algún desplazamiento significativo para la determinación de los modos de vibración, porque en la planta baja todos los elementos estructurales se agregaron que no tienen peso, esto se hizo con el fin de que los modos de vibración me cumplan acorde a las Normas Ecuatorianas de la Construcción.
- Luego de haber hecho el análisis correspondiente para los dos modelos y querer comprobar las cargas, se procede a poner puntales a la edificación, estos elementos no tienen peso solo van a aportar rigidez a la estructura. Luego de haber hecho lo indicado se hace una comparación mediante el análisis dinámico modal espectral para ambos modelos y podemos constatar que el periodo bajó casi a la mitad de la edificación que no tenía puntales, y realizando los resultados que se obtiene en las derivas, la losa tipo membrana queda expuesto como la edificación que mas porcentaje de deriva tiene considerando que el rango mínimo requerido es del 2%.
- Para la rehabilitación estructural del edificio Bloque 4 del Campus Machala se decide por poner un exoesqueleto de acero que por lo general se conoce como "estructura de soporte externa" o "estructura de armazón externo". Está diseñado para proporcionar estabilidad y resistencia a la estructura del edificio, permitiendo mayor flexibilidad en la disposición de los espacios interiores. Este tipo de diseño es eficaz para contrarrestar fuerzas horizontales, como viento o sismos, que pueden afectar a los edificios altos. El acero se elige comúnmente por su resistencia y durabilidad, y se utiliza para formar columnas y vigas en la estructura exterior.

6. Recomendaciones:

- Para poder empezar a modelar un edificio es importante contar con los planos estructurales, en caso de que no haya pues se debe realizar la respectiva inspección en campo para tomar todas las observaciones disponibles. Los estudios de los edificios que se hacen a través de un programa de análisis estructural son para dar soluciones a problemas de cálculo o de infraestructura, las propuestas no quedan solo en una hoja de papel, sino que deben ser utilizadas y ponerle a prueba.
- Todos los programas que se desarrollan el diseño de un edificio tienen su pro y su contra, no hay ningún programa que sea único y aceptable para todos, las necesidades de buscar resultados te hacen escoger el programa que quieras.
- Todos los métodos que se emplean son muy importantes partiendo desde un análisis lineal hasta un análisis estático no lineal (PUSHOVER), en este estudio hemos podido verificar las derivas que no cumplen, entonces son aspectos que se debe tener en cuenta para poder hacer un correcto diseño.

Bibliografía

1. Adrián, G., Campoverde, A., André, P., Oswaldo, L., & Romero, C. (2023). Static Non-linear Analysis (Pushover) Of Composite Special Moment Frames (C-SMF). *Revista Ciencia y Construcción*, 4(2).
2. Ajila Zari, L. A. (2015). ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DINÁMICO DE UN EDIFICIO DE 4 PLANTAS ALTAS MEDIANTE EL PROGRAMA SAP2000 EN 3 DIMENSIONES.
3. Alvarado Mamani, J. A., & Aguilar Chuquimia, H. A. (2023). Seismic response for a reinforced concrete residential building according to South American standards in the Pacific zone. *Revista Ingeniería de Construcción*, 38(1), 126–143. <https://doi.org/10.7764/RIC.00057.21>
4. American Society of Civil Engineers. (2014). CHAPTER 7 ANALYSIS PROCEDURES AND ACCEPTANCE CRITERIA.
5. Añazco, P. A., Añazco Gilbert, & Carrión Leyden. (2022). Análisis Dinámico Incremental De Marcos Multi-Panel Arriostrados Concéntricamente Incremental Dynamic Analysis Of Concentrically Braced Multi-Panel Frames. *Revista Ciencia y Construcción*, 3, 43–53. <https://doi.org/https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/135/108>
6. Bungacho, J., Baquero, R., & Hernandez, L. (2022). Evaluación de vulnerabilidad sísmica, análisis estructural y diseño de reforzamiento de una vivienda en Quito–Ecuador. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 5(2), 63–79. <https://doi.org/10.22206/cyap.2022.v5i2.pp63-79>
7. Cagua-Gómez, B., Tola-Tola, A., Pilatasig-Caizaguano, J., & Aguilar-Rosero, P. (2022). Influencia sobre el cortante basal y derivas de edificaciones al incluir una fracción de la carga viva en la carga sísmica reactiva. *Investigación y Desarrollo*, 16(1). <https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1667>
8. Cárdenas Ortega, D. A., & Ruilova Pesantez, J. J. (2022). EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES. Universidad de Cuenca.
9. Coronel, G., & López, O. A. (2013). METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE DAÑOS POR SISMOS EN EDIFICIOS ESCOLARES DE VENEZUELA MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD METHODOLOGY FOR THE ESTIMATION OF SEISMIC DAMAGE IN SCHOOL BUILDINGS OF VENEZUELA BY FRAGILITY CU (Vol. 28, Issue 2).
10. Corte, B., & Perilla, K. (2017). IDENTIFICACION DE PATOLOGIAS ESTRUCTURALES [Tesis de Grado]. Universidad Libre Seccional Pereira.

11. Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). State of the Art of Seismic Vulnerability Studies in Ecuador. *Revista Politecnica*, 50(1), 55–64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>
12. De La Torre Rangel, O., López Vásquez, R., Salazar Hernández, A., & Roldán Cabrera, J. C. (2004). EVALUACIÓN ESTRUCTURAL Y COMPORTAMIENTO DE LAS REPARACIONES EFECTUADAS A EDIFICACIONES HISTÓRICAS. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 70, 1–26. <https://doi.org/10.18867/RIS.70.106>
13. Elyamani, A., Roca, P., Caselles, O., & Clapes, J. (2017). Seismic safety assessment of historical structures using updated numerical models: The case of Mallorca cathedral in Spain. *Engineering Failure Analysis*, 74, 54–79. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.12.017>
14. Farinango, L., Herrera, H., Correa, M., Hernández, L., & Parra, G. (2022). Evaluación sísmica y rehabilitación de una edificación universitaria construida hace más de 40 años. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 5(1), 7–37. <https://doi.org/10.22206/cyap.2022.v5i1.pp7-37>
15. Gutiérrez Trejo, J., & Ayala Milián, G. (2022). ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA SÍSMICA DE EDIFICIOS. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 107, 47–73. <https://doi.org/10.18867/ris.107.603>
16. Jiménez Arguelles, V., Rocha Chiu, L., Póo Rubio, A., & Ramírez Calderón, O. (2021). Gestión de los rendimientos de la mano de obra en proyectos de rehabilitación estructural y arquitectónica en edificios dañados por sismos. *Anuario de Administración y Tecnología Para El Diseño*, 22(22), 91–107. <https://doi.org/10.24275/issn.2594-1283.2021.p91-107>
17. Lascarro, F., Manco, D., Lozada, M., & Rojas, E. (2020). Análisis estructural y morfotectónico al norte de Valledupar-Cesar, Colombia: contribución a los estudios de peligrosidad sísmica de la Falla Río Seco. In *Revista chilena de ingeniería* (Vol. 28, Issue 2).
18. Maya Miranda, E. (2019). Rehabilitación estructural de conjuntos históricos. *Re. Revista De Edificación*, 28, 5–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.15581/020.28.34822>
19. NEC-SE-CG. (2015). *CARGAS (NO SÍSMICAS)*.
20. NEC-SE-DS. (2015). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*.
21. Ojeda, L., & Colorado, Y. (2021). EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PABELLÓN “A” DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 42036 JUAN MARÍA REJAS, TACNA 2021 [Tesis de posgrado]. Universidad Privada de Tacna.

22. Otero, D. Z. (2017). *ONDAS SÍSMICAS, su importancia para la geofísica y la humanidad*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20029.08168>
23. Páez, D., Zabala, J., & Rodríguez, Y. (2017). SOFT.STORY, A COMMON FLAW IN THE EARTHQUAKE IN PEDERNALES. In *Revista CIENCIA* (Vol. 19).
24. Perepérez, B. (2014). La peligrosidad sísmica y el factor de riesgo. *Informes de La Construcción*, 66(534). <https://doi.org/10.3989/ic.13.018>
25. Pozo Rodríguez, Manuel., González Yélamos, J., & Giner Robles, J. (2004). *Geología práctica : introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas*. Prentice Hall / Pearson.
26. Prasanth, S., & Ghosh, G. (2021). Effect of cracked section properties on the resilience based seismic performance evaluation of a building. *Structures*, 34, 1021–1033. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.08.035>
27. Quintero Garcia, P. A., & Sánchez Camacho, J. F. (2018). *ANÁLISIS DE SISTEMAS PARA LA DISIPACIÓN DE ENERGÍAS EJERCIDAS POR FUERZAS DINÁMICAS*.
28. Rivera Castro, J. D. (2021). *Efecto de las cargas verticales en el diseño integral de edificios de mampostería* [Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.]. <https://doi.org/10.24275/uama.6743.9461>
29. Sardar, S., & Hama, A. (2018). Evaluation of p-delta effect in structural seismic response. *MATEC Web of Conferences*, 162. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816204019>
30. Simbaña Vela, A. A., Zambrano Sandoval, E. A., & Guerrero Cuasapaz, D. P. (2021). Análisis no lineal de estructuras regulares de hormigón armado ante eventos tsunamigénicos en Tonsupa-Esmeraldas. *Green World Journal*, 4(2), 19. <https://doi.org/10.53313/gwj42019>
31. Stepinac, M., Kisicek, T., Renić, T., Hafner, I., & Bedon, C. (2020). Methods for the assessment of critical properties in existing masonry structures under seismic loads—the ARES project. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10051576>
32. Urgiles Gómez, N., & Ramiro Santin, J. (2015). *Diversidad de briófitos de los Páramos de Cajanuma del Parque Nacional Podocarpus*. <https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.1.5009.1921>
33. Vargas, Y. F., Pujades, L. G., Barbat, A. H., & Hurtado, J. E. (2013). Evaluación probabilista de la capacidad, fragilidad y daño sísmico de edificios de hormigón armado. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno En Ingenieria*, 29(2), 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2013.04.003>

34. Ye, L., Kanamori, H., Avouac, J. P., Li, L., Cheung, K. F., & Lay, T. (2016). The 16 April 2016, MW 7.8 (MS 7.5) Ecuador earthquake: A quasi-repeat of the 1942 MS 7.5 earthquake and partial re-rupture of the 1906 MS 8.6 Colombia–Ecuador earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 454, 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.09.006>
35. Villalba Paola. Comparación del análisis modal espectral, lineal y no lineal. Tesis de Postgrado (2015)
36. BLANCO, M. (2023). Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 27(3), 071–084. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000300008
37. Artedínamico. (2015). PRINCIPIOS DE LA SISMORESISTENCIA. Diseño Estructural, Ingenieros Calculistas, Ejecución de Estudios, Diseños, Interventoría, Asesoría, Consultoría Y Construcción de Obras Civiles, Actividad Lícita Civil Y Comercial. <http://sioingenieria.com/>
38. Ingrid Noelia Vidaud-Quintana, Zenaida Paulette Frómata-Salas, & Eduardo. (2019). CONTROL DE CALIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ZONAS DE ELEVADO PELIGRO SÍSMICO. *Ciencia En Su PC*, 1(4), 72–85. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358738016/html/>

Anexo 1: Tabla de datos de la curva de capacidad para un sismo estático en dirección X

Step	Monitored Displ cm	Base Force kgf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	528	188	0	0	0	716	0	0	0	716
1	0,0143	213,46	528	188	0	0	0	716	0	0	0	716
2	9,1696	111667,3	475	241	0	0	0	713	3	0	0	716
3	18,1979	198343,8	454	262	0	0	0	665	51	0	0	716
4	27,1993	264729,25	409	307	0	0	0	631	85	0	0	716
5	31,032	287568,95	394	320	2	0	0	614	102	0	0	716
6	31,0329	287146,36	394	320	2	0	0	614	102	0	0	716
7	31,0338	284840,08	393	321	1	1	0	612	102	2	0	716
8	31,6339	288435,97	392	319	4	1	0	605	108	3	0	716
9	31,6339	288435,98	392	319	4	1	0	605	108	3	0	716
10	31,6791	288137,74	392	319	3	2	0	605	107	4	0	716
11	31,7074	288303,01	392	319	3	2	0	603	109	4	0	716
12	31,7083	286400,34	392	319	2	3	0	603	108	5	0	716
13	31,7386	286695,12	392	318	3	3	0	603	108	5	0	716
14	31,7386	286695,02	392	318	3	3	0	603	108	5	0	716
15	31,7388	286695	392	318	3	3	0	603	108	5	0	716
16	31,7464	286686,08	392	318	3	3	0	603	107	6	0	716
17	31,7615	286646,54	392	318	3	3	0	603	107	6	0	716
18	31,7927	286468,18	392	318	2	4	0	603	107	6	0	716
19	32,0181	287997,61	392	317	2	5	0	603	107	6	0	716

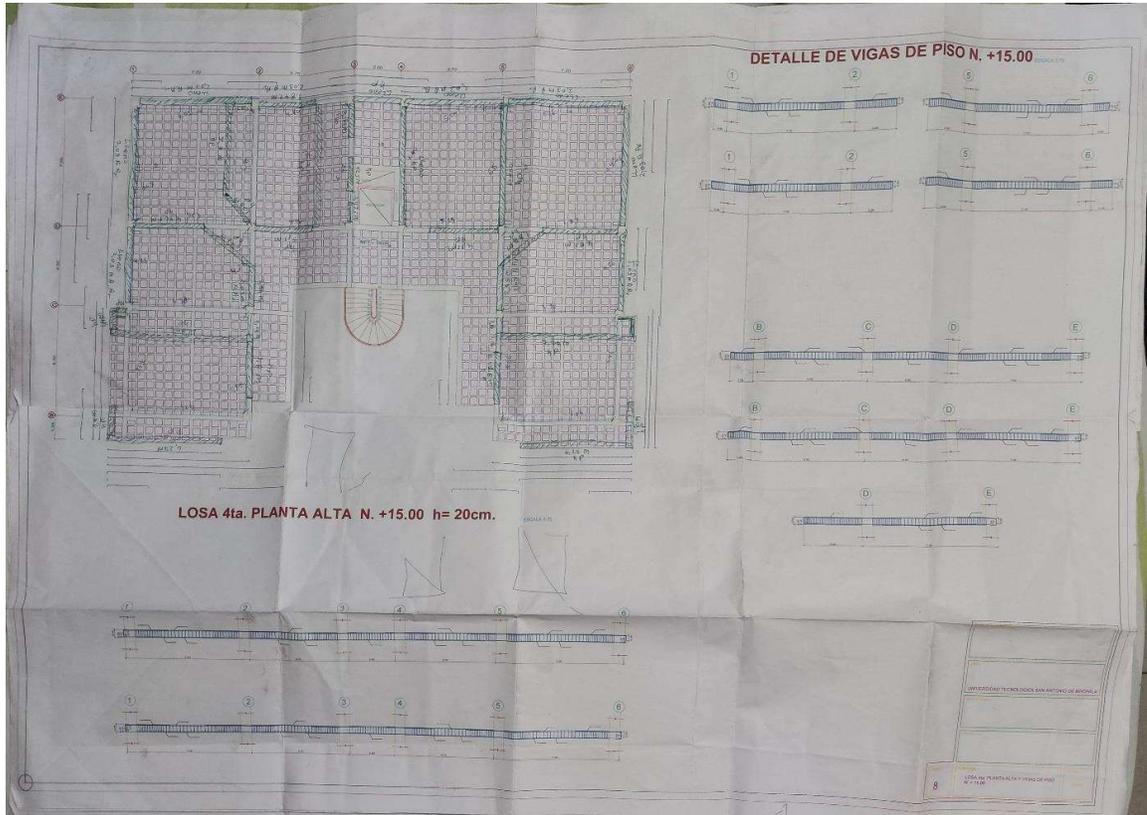
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Tabla de datos de la curva de capacidad para un sismo estático en dirección Y

Step	Monitored Displ cm	Base Force kgf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A- IO	IO- LS	LS- CP	>CP	Total
0	0	0	528	188	0	0	0	716	0	0	0	716
1	0,059	997,84	525	191	0	0	0	716	0	0	0	716
2	9,5026	126514,8	470	246	0	0	0	714	2	0	0	716
3	18,5322	224810,87	441	275	0	0	0	670	46	0	0	716
4	27,8499	300212,68	400	316	0	0	0	636	80	0	0	716
5	30,2936	315713,14	392	323	1	0	0	613	102	0	1	716
6	30,2945	312452,5	392	323	0	1	0	613	101	1	1	716
7	31,2751	318916,18	389	325	1	1	0	602	112	1	1	716
8	31,276	317098,51	389	325	0	2	0	602	111	2	1	716
9	31,6684	319839,57	389	324	1	2	0	601	112	2	1	716
10	31,6693	317535,1	389	324	0	3	0	601	111	3	1	716
11	31,806	319139,62	388	325	0	3	0	600	112	3	1	716
12	33,3497	328446,6	384	327	2	3	0	583	129	3	1	716
13	33,3506	325050,67	384	327	0	5	0	583	127	5	1	716
14	33,5812	327205,14	384	326	1	5	0	583	127	5	1	716
15	34,5766	333060,9	382	327	2	5	0	577	132	6	1	716
16	34,5775	331580,61	382	327	1	6	0	577	131	7	1	716
17	34,655	332314,71	382	326	2	6	0	577	131	7	1	716
18	35,3017	336016,3	381	326	3	6	0	573	134	8	1	716
19	35,3026	333884,58	381	326	1	8	0	573	133	9	1	716
20	35,4283	335180,63	380	327	1	8	0	573	133	9	1	716
21	36,1922	339743,52	379	327	1	9	0	568	138	9	1	716
22	36,1931	337213,48	379	327	0	10	0	568	137	10	1	716
23	36,3437	339062,64	378	328	0	10	0	568	137	10	1	716
24	37,7782	347576,84	375	328	3	10	0	566	137	12	1	716
25	37,7791	344038,94	375	328	1	12	0	566	135	14	1	716
26	38,1037	346812,81	375	326	3	12	0	564	136	15	1	716
27	35,2219	288635,07	375	326	3	12	0	564	135	16	1	716

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 3. Plano estructural del edificio



Fuente: Edificio Bloque 4 Campos Machala

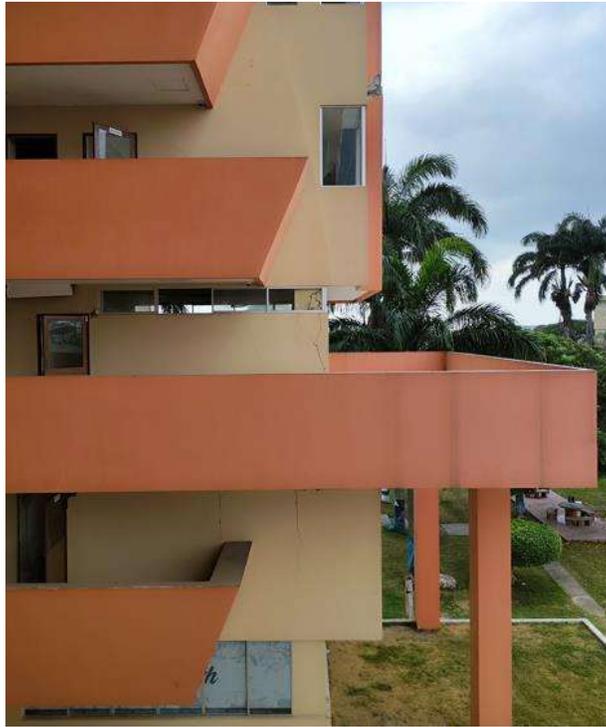
Anexo 4. Evidencia fotográfica

Figura 45. Registro de datos en Campo



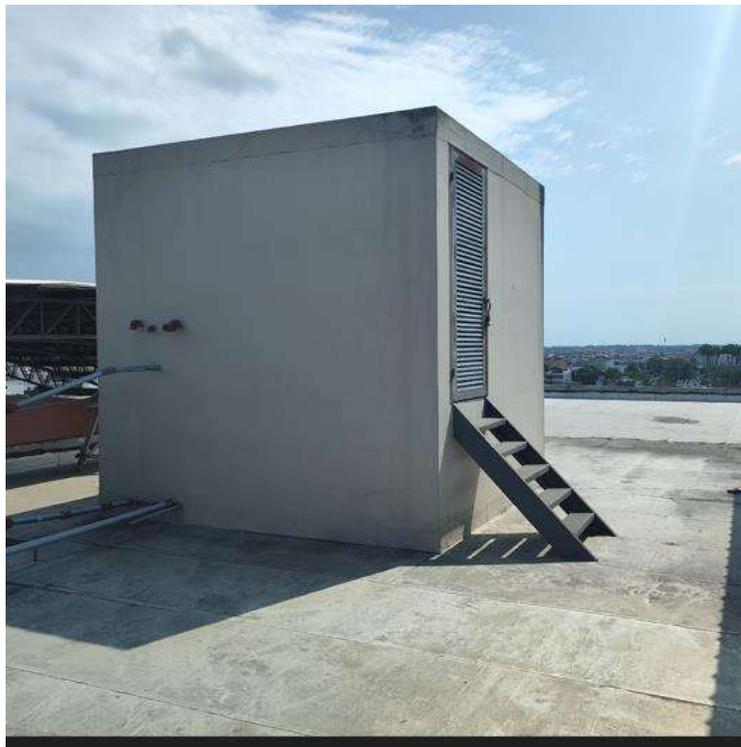
Fuente: Elaboración Propia

Figura 46. Fisuración de Paredes



Fuente: Elaboración Propia

Figura 47. Caseta en la terraza



Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Paredes colapsadas



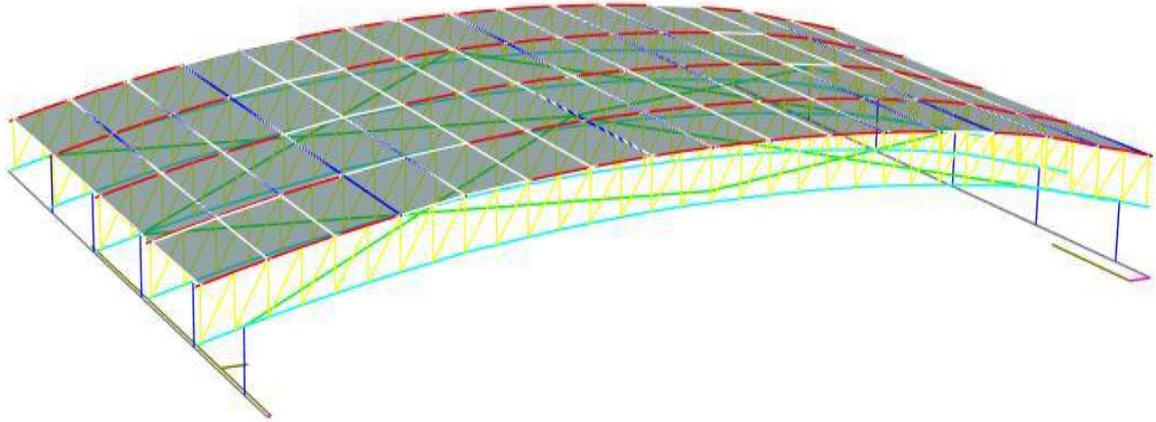
Fuente: Elaboración Propia

Figura 49. Paredes derrumbadas



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Cubierta del Edificio Bloque 4 Campus Machala



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51. Exoesqueleto de acero



Fuente: : Tomado de “<https://tiposdearte.com/tipos-de-arquitectura/exoesqueleto>”