



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Recomendaciones sísmicas basadas en reocupación posterior a terremoto y tiempo de recuperación funcional para mejorar entornos constructivos de edificaciones especiales**

Bonilla Garcés, Alejandro; Cruz Otero, Omar Mateo; Jingo Cevallos, Jordy Rodrigo; Obando Quiroz, Miguel Angel; Villamarín Andino, Guido Alejandro y Vizcaino Cruz, Juan Francisco

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Haro Báez, Ana Gabriela, Ph. D.

1 de marzo de 2022

# COPYLEAKS

Escrito proyecto revisión.pdf

Scanned on: 19:30 March 2, 2022 UTC

2.4%

Overall Similarity Score

46

Results Found

49213

Total Words in Text

Identical Words	497
Words with Minor Changes	73
Paraphrased Words	461
Omitted Words	6209

Firma:



Firmado electrónicamente por:

**ANA**  
**GABRIELA**

**Ing. Haro Báez, Ana Gabriela, Ph. D.**

C. C. 1713500302



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de integración curricular, **“Recomendaciones sísmicas basadas en reocupación posterior a terremoto y tiempo de recuperación funcional para mejorar entornos constructivos de edificaciones especiales”** fue realizado por los señores **Bonilla Garces, Alejandro; Cruz Otero, Omar Mateo; Jingo Cevallos, Jordy Rodrigo; Obando Quiroz, Miguel Angel; Villamarín Andino, Guido Alejandro y Vizcaino Cruz, Juan Francisco**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 01 de marzo de 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:

**ANA.....**  
**GABRIELA**

**Ing. Haro Báez, Ana Gabriela, Ph.D.**

C. C. 1713500302



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Bonilla Garcés, Alejandro; Cruz Otero, Omar Mateo; Jingo Cevallos, Jordy Rodrigo; Obando Quiroz, Miguel Angel; Villamarín Andino, Guido Alejandro y Vizcaino Cruz, Juan Francisco**, con cédulas de ciudadanía n° 1722585070, n° 0503112492, n° 1003841762, n° 1727202416, n° 1724511090, n° 1728079961, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Recomendaciones sísmicas basadas en reocupación posterior a terremoto y tiempo de recuperación funcional para mejorar entornos constructivos de edificaciones especiales”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 01 de marzo de 2022

**Bonilla Garcés, Alejandro**

C.C.: 1722585070

**Jingo Cevallos, Jordy Rodrigo**

C.C.: 1003841762

**Villamarín Andino, Guido Alejandro**

C.C.: 1724511090

**Cruz Otero, Omar Mateo**

C.C.: 0503112492

**Obando Quiroz, Miguel Angel**

C.C.: 1727202416

**Vizcaino Cruz, Juan Francisco**

C.C.: 1728079961





**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, Bonilla Garcés, Alejandro; Cruz Otero, Omar Mateo; Jingo Cevallos, Jordy Rodrigo; Obando Quiroz, Miguel Angel; Villamarín Andino, Guido Alejandro y Vizcaino Cruz, Juan Francisco, con cédulas de ciudadanía n° 1722585070, n° 0503112492, n° 1003841762, n° 1727202416, n° 1724511090, n° 1728079961, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Recomendaciones sísmicas basadas en reocupación posterior a terremoto y tiempo de recuperación funcional para mejorar entornos constructivos de edificaciones especiales”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 01 de marzo de 2022**

**Bonilla Garcés, Alejandro**

C.C.: 1722585070

**Jingo Cevallos, Jordy Rodrigo**

C.C.: 1003841762

**Villamarín Andino, Guido Alejandro**

C.C.: 1724511090

**Cruz Otero, Omar Mateo**

C.C.: 0503112492

**Obando Quiroz, Miguel Angel**

C.C.: 1727202416

**Vizcaino Cruz, Juan Francisco**

C.C.: 1728079961

### **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado principalmente a mi mamá que con su cariño, entrega, dedicación y preocupación ha sido mi principal compañía a lo largo de esta etapa de mi vida y ha sido uno de los factores clave para llegar a donde estoy.

A mi papá, que, con su constante vigilia ha logrado sacar la mejor parte de mí durante mis estudios y me ha apoyado siempre en lo que he requerido y es otra de las personas clave en mi vida.

A mis amigos Mateo, Papita, Miguel, Juan, Margarita, Grace y Rodri las cuales son las personas que han estado presentes casi desde el principio y nos hemos apoyado mutuamente en los días más difíciles.

A mis amigos Kim y Feli, que son como hermanos para mí y que han marcado mi vida. Así como a Lolita e Iván, que son como una segunda familia para mí.

A mi familia, que me ha dado apoyo y alegrías toda mi vida.

***Alejandro Bonilla***

“El presente trabajo está dedicado a Dios, mi guía.

A mis padres Mónica y Omar, por su gran amor, palabras de aliento y apoyo incondicional en todos estos años, serán siempre mi gran fuente de inspiración.

A mis hermanos Dani y Carlos por su cariño e incondicionalidad, son las personas más importantes en mi vida.

A mis abuelitos Paquita, Oswaldo, Ena y Modesto que siempre estuvieron pendientes de mí.

A mis amigos los cuales tuve la suerte de que sean mis compañeros de esta investigación.

A todos mis seres queridos y amigos que fueron una pieza fundamental en las diferentes etapas de este proceso universitario”.

**Mateo Cruz**

Este trabajo va dedicado a mi familia, el pilar fundamental que sostiene mí persona, que me ha formado, definido y me ha permitido llegar con orgullo al presente.

A mi padre Marcelo, cuyo ejemplo de trabajo duro y constante intento perseguir día a día. A mi madre Marisol, quien siempre tiene espacio para compartir con la familia y las personas importantes en su vida. A mi hermana Melany de quien espero algún día poder imitar su cariño y preocupación por los demás y compartir esa actitud con los que me rodean, ustedes son la fortaleza que vive en mí y siempre me acompaña.

A mis amigos y compañeros en esta etapa, Miguel, Alejo, Guido, Magui, Mateo, Juan, Denisse, Sebastián, Grace, Holger y todos con quienes me rodeé, de quienes aprendí y con quienes avanzamos durante estos años, a quienes siempre observaba y me inspiraban a seguir esforzándome, así como ellos lo hacían, con los que se compartieron grandes experiencias y se formaron recuerdos. Hicieron que esto no solo sea posible sino una experiencia única.

A Shennyel quien siempre ha estado dispuesto a brindarme su amistad y que me apoya en momentos de flaqueza y debilidad emocional, centrándome y fortaleciéndome con sus palabras y consejos.

A mis amigos en Ibarra en quienes siempre encontré un descanso de los trabajos y responsabilidades para retornar siempre con más energía y ánimo.

**Rodrigo Jingo**



Dedico este trabajo a Dios por brindarme la oportunidad de cumplir esta tan anhelada meta, y colocar a las personas correctas en mi vida para atravesar este arduo camino lleno de obstáculos, experiencias y aprendizajes.

Con mucho amor a mis padres Miguel y Digna, mis mejores maestros y ejemplos de esfuerzo y valentía, por ser mi soporte incondicional y motivación constante desde siempre, por el gran esfuerzo que han dedicado en mí y por apoyarme en todo lo que me propongo.

A mi hermano Andrés, con quien crecí y superamos tantos obstáculos que nos puso la vida, y por todo el apoyo durante mi etapa universitaria.

A Nathaly la compañera de viaje que Dios puso en mi camino, mi mejor amiga y mi cómplice, por tu apoyo y sabios consejos en cada etapa que resulto difícil para mí, y por ser el motivo de una búsqueda constante del éxito, porque tú sacas lo mejor de mí.

A mis amigos Alejo, Papita, Juan, Rodri, Mateo, Grace y Magui excelentes personas, quienes lograron que esta experiencia universitaria sea una de las más gratas de mi vida.

A mis amigos Steban y Shari, quienes me fortalecieron con su apoyo, palabras y consejos en las distintas situaciones y decisiones que se me presentaron.

***Miguel Obando***

Dedico este trabajo a:

Mis padres, Guido y Ligia, quienes han dado su esfuerzo día tras día para que cada uno de sus hijos pueda crecer e ir tras sus sueños, además de enseñarme lo valioso que es ser una persona humilde y pensar en los demás.

A mis hermanas Anita, Sophia y Camila, quienes han crecido a mi lado, por quienes siempre trato de ser mejor, para poder cuidarlas y ayudarlas.

A mi enamorada Gaby, porque siempre supo estar ahí para apoyarme y recordarme en cada momento que tengo mucho que dar. Una persona por quien he comprendido lo valioso que es fijar correctamente tus objetivos.

A mis abuelitos, Deciderio y Herminia, que partieron de este mundo con la ilusión de que logre crecer y ser alguien que haga algo bueno por la demás gente y desde el primer momento supieron valorar los valores que me han sido heredados.

A mis abuelitos, Camilo y Rosa Anita, que aún pueden acompañarme, por quienes tengo mucho por hacer, para cuidarlos y puedan estar orgullosos de mí.

A mis compañeros de proyecto a quienes puedo llamar mejores amigos, quienes han hecho de esta parte de mi vida una de las mejores, cada instante en que pude compartir con ellos la competitividad, el compañerismo, el apoyo, será atesorado, porque han marcado mi vida.

A los docentes quienes a partir de sus enseñanzas me han transmitido los ideales y sentimientos de cómo podemos ser ingenieros que laboren por un mejor País.

***Alejandro Villamarín***

A mis padres José y Gloria quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más y que con su ejemplo me han inculcado el esfuerzo y valentía.

A mis hermanos Manolo y Raphael por su cariño y apoyo incondicional, durante mi vida universitaria, por estar conmigo en todo momento gracias.

A mis amigos Alejandro, Rodrigo, Miguel, Mateo, Grace, Margarita y Papita que me han acompañado en este periodo de mi vida y que hicieron de esta etapa toda una aventura.

A Cecy Castañeda por haberme apoyado desde el inicio de esta aventura y por haber sido guía y maestra en mi vida universitaria.

A mis abuelos que desde el cielo me cuidan y me protegen y de quienes agradezco los valores que hoy me han llevado a cumplir este sueño.

***Juan Vizcaino***

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por permitirme llegar a donde estoy y abrirme el camino a un nuevo mundo de oportunidades.

A mis padres, por todo el tiempo y esfuerzo invertido, pero sobre todo por el amor que me tienen, que me han llevado a crecer como persona.

A mis profesores, que han sabido guiarme por el camino correcto, especialmente al Doctor Roberto Aguiar que con su guía me ha ayudado inmensamente en este camino universitario y lo considero un ejemplo a seguir.

A nuestra tutora la Dra. Ana Haro que con su alta comprensión, compromiso y calidad humana nos ha llevado a culminar este trabajo de la mejor manera y nos ha enseñado que ser honestos es parte fundamental dentro de un buen profesional.

A todas las personas que han cruzado por mi vida universitaria que, aunque nos hablemos poco o ya no nos hablemos, forman parte de mi historia y siempre los recordaré de la mejor manera.

A Luna, que ha sido mi compañera en la pandemia y que día a día hace mi tiempo más feliz.

A mis amigos de proyecto, cuyo trabajo ha hecho posible este proyecto y han hecho más ameno el tiempo en la Universidad.

A la universidad que me acogió y fue mi segundo hogar por todo este tiempo.

A todas las personas que no menciono, pero forman parte de mi vida, gracias totales.

***Alejandro Bonilla***

Quisiera expresar mis agradecimientos a todas las personas que hicieron posible el éxito de este proyecto, extendiéndome su mano y brindándome su consejo.

Agradezco a mis padres, por ser mi pilar fundamental, me dieron todo el apoyo para no decaer cuando todo se complicaba.

A mi tutora Ph.D Haro por su tiempo y guía en el proceso de este trabajo; a mis seres queridos y amigos: Alejo, Papa, Miguel, Juan, Rodri, Grace, Magui, Chelo, Iván y otros amigos, que hicieron que esta etapa sea una de las mejores.

Finalmente, a todos mis profesores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, personas de gran sabiduría que me transmitieron sus conocimientos de la mejor forma posible.

A todos ellos, muchas gracias.

***Mateo Cruz***

Agradezco a mi universidad por darme la oportunidad de formar parte del nuevo grupo de profesionales del Ecuador y haberme permitido reunirme con un sin número de personas que me inspiraron, ampliaron mis conocimientos y fomentaron mi crecimiento personal y profesional. De esta manera y con todo lo aprendido en esta etapa espero poder retribuir a la vida las oportunidades, vivencias, experiencias y todo lo que generosamente me brinda.

A mis amigos y compañeros de proyecto Miguel, Juan, Alejo, Guido y Mateo con los que no solo he trabajado este último ciclo académico, sino que con quienes se ha trabajado por años tras el mismo objetivo y con quienes finalmente hemos completado esta meta. Espero seguir teniendo la oportunidad de trabajar juntos o al menos tener la fortuna de conocer más personas así.

A mi tutora de proyecto Dra. Ana Haro que con su guía se llevó a cabo con éxito este proyecto y quien me recuerda a todos mis catedráticos, quienes con sus enseñanzas y ejemplos me motivan a ser un buen profesional, pero por sobre todo una buena persona.

***Jordy Jingo***

Agradezco a Dios por permitirme tomar cada decisión con sabiduría y guiar mis pasos.

A mis padres Miguel y Digna, y a mi hermano Andrés, quienes nunca dejaron de creer en mí, son el motor que me ha empujado etapa tras etapa para llegar a ser lo que soy, siempre estaré orgulloso de ustedes.

A mi enamorada Nathaly, mi fortaleza, quien día a día eleva mis ganas de ser una mejor persona. Y un agradecimiento especial a su familia por abrirme las puertas de su hogar, por todo el apoyo y cariño que me brindaron desde el primer momento en que me conocieron.

A mis abuelitos Tomas y Fanny, por el gran apoyo, cariño y consentimiento que he recibido desde que tengo memoria.

A mis mejores amigos Steban, Shari, Alejo, Papita, Juan, Rodri, Mateo, Margarita y Grace, por su amistad, de quienes me siento muy orgulloso y estoy seguro que van a tener mucho éxito porque son excelentes seres humanos.

A mis primos Marco, Lesly, César, Ronal y Mabe por brindarme su cariño y por todos los recuerdos y aventuras que tenemos.

Un especial agradecimiento a mi tutora de proyecto, Dra. Ana Haro, por su excelente guía para llevar a cabo este trabajo de titulación.

Finalmente, a todos los docentes que con su sabiduría y profesionalismo me han compartido sus conocimientos a lo largo de este proceso de formación personal y académica.

***Miguel Obando***



La culminación de este proyecto y esta etapa de mi vida no ha sido posible sin el apoyo de las siguientes personas:

A Dios que ha sido parte importante de mi vida y mantiene firme mi convicción de ayudar a los demás.

A mis padres quienes son un ejemplo de esfuerzo y perseverancia, junto con mis hermanas, quienes han velado por mi desde el primer momento en que inicié mis estudios de Ingeniería Civil y son los primeros a quienes quiero demostrar que seré un gran profesional.

De igual manera a mi enamorada Gaby, quien desde el día en que la conocí ha sabido ser un apoyo incondicional de inicio a fin y ha disfrutado mis logros como nadie más.

A mis amigos Alejandro, Mateo, Miguel, Rodry y Juan con quienes he compartido este sueño de ser Ingeniero Civil, meta que estamos alcanzando juntos, y de quienes estoy orgulloso y seguro de que desempeñaran de forma exitosa su profesión.

A todos los compañeros de la carrera quienes están a un paso de también lograr su meta y de quienes siempre he recibido apoyo, especialmente Grace, Margarita, Carlos, Henry, Mabe, Bryan, Panita, Gabriel, entre otros.

Un agradecimiento especial a nuestra tutora de proyecto, la Dra. Ana Gabriela Haro, una docente excepcional, cuya guía y compromiso han sido fundamental para la culminación de este proyecto.

***Alejandro Villamarín***

A Dios por darme la salud y permitirme cumplir una meta más en mi vida. A mis padres y hermanos que me han brindado su apoyo y cariño incondicional y han sabido darme aliento para cumplir esta meta en mi vida.

A mi tutora la Ing. Ana Haro Ph.D por el tiempo dedicado y los conocimientos brindados, además de su calidad humana y haber sido guía y apoyo del presente trabajo de titulación.

A todos los profesores que durante mi trayecto por la carrera me enseñaron a disfrutar de la Ingeniería Civil y llevarla con responsabilidad y ética.

A mis amigos Dayana, Paty, Valeria, Melanie y Dylan por darme su apoyo, consejos de vida y estar siempre pendientes de mí.

A mis amigos y futuros colegas por brindarme su apoyo y motivación para culminar este sueño en común de ser ingenieros civiles.

A todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto y nos dieron las facilidades para que se desarrolle de la mejor manera.

A mi primo Dr. Raphael Abalco por siempre estar orgulloso de mí y brindarme su sabiduría, consejos y apoyo.

A toda mi familia por brindarme su cariño y apoyo.

***Juan Vizcaino***

**Índice de contenido**

Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	12
Índice de contenido .....	18
Índice de Tablas .....	33
Índice de Figuras .....	37
Resumen .....	44
Abstract.....	45
Capítulo I.....	46
Generalidades.....	46
Introducción.....	46
Antecedentes .....	47
Planteamiento del problema .....	48
Justificación e Importancia .....	50
Objetivos.....	51
Objetivo General.....	51
Objetivos específicos.....	51
Descripción del contenido .....	51
Capítulo 1.....	51
Capítulo 2.....	51
Capítulo 3.....	52

Capítulo 4.....	52
Capítulo 5.....	52
Capítulo 6.....	53
Capítulo 7.....	53
Capítulo 8.....	53
Capítulo 9.....	54
Capítulo 10.....	54
Capítulo 2.....	55
Marco Teórico.....	55
Riesgo sísmico.....	55
Peligrosidad sísmica en el Valle de los Chillos.....	57
Exposición sísmica.....	57
Vulnerabilidad estructural.....	57
Dinámica de estructuras.....	58
Excitaciones.....	58
Vibración ambiental.....	58
Respuestas dinámicas.....	60
Espectro de respuesta.....	60
Espectro de diseño.....	61
Modo de vibración.....	62

Análisis no lineal .....	63
Análisis Estático No Lineal – Pushover .....	64
Patrones de carga .....	67
Rótulas plásticas.....	67
Diagrama momento – curvatura y momento – rotación.....	68
Curva de capacidad .....	69
Análisis Estático.....	69
Pushover adaptativo .....	70
Análisis de Desempeño.....	70
Objetivos de desplazamiento .....	70
Niveles de desempeño.....	73
Niveles de amenaza sísmica.....	74
Objetivos de desempeño .....	75
Criterios de aceptación .....	76
Ensayos no destructivos.....	81
Pachómetro.....	82
Esclerómetro.....	82
Instrumentación de estructuras .....	83
Transformada de Fourier .....	84
Recuperación Efectiva.....	86

	21
Resiliencia comunitaria.....	86
Reocupación.....	86
Recuperación funcional .....	86
Rehabilitación estructural.....	87
Tiempo de Recuperación Efectiva.....	87
FEMA P 58 .....	88
Herramienta PACT .....	89
Normativas aplicadas.....	89
Metodología FEMA P-2090 .....	89
Normativa NEC-SE-RE .....	90
Normativa ASCE 41-17 .....	90
Normativa ACI 562-19.....	91
Metodología FEMA P-1000 .....	91
Metodología FEMA P-58 .....	92
FEMA P-58-1, Seismic Performance Assessment of Buildings, Methodology: .....	92
FEMA P-58-2, Seismic Performance Assessment of Buildings, Implementation Guide:.....	92
FEMA P-58-3, Seismic Performance Assessment of Buildings, Supporting Electronic Materials and Background Documentation:.....	92
Capítulo 3.....	93
Marco Metodológico .....	93

Determinación de lugares de estudio.....	93
Recolección de datos preliminares.....	93
Levantamiento de información.....	94
Geotecnia de la zona.....	94
Metodologías de análisis .....	94
Inspección de edificaciones .....	94
Búsqueda de patologías.....	94
Verificación de geometría.....	95
Ensayos no destructivos.....	95
Pachómetro.....	95
Esclerómetro.....	95
Detalles de equipo .....	96
Instrumentación de estructuras .....	97
Equipo necesario.....	97
Previo a ensayo de campo .....	98
Ensayo de campo .....	99
Resultados y tratamiento de datos.....	100
Análisis de cargas en la estructura.....	100
Elaboración de modelo analítico computacional .....	101
Análisis de respuesta de la estructura .....	102



Tiempo de Recuperación efectivo .....	103
Herramienta PACT .....	104
Información elemental de la estructura .....	104
Modelo de ocupación .....	104
Grupos de fragilidad de la estructura .....	104
Grupos de desempeño.....	105
Análisis Incremental Dinámico aproximado (IDA) .....	105
Modos de colapso .....	106
Resultados del análisis estructural.....	106
Resultados esperados .....	106
Capítulo 4.....	108
Unidad Educativa 1 .....	108
Ubicación UE1 .....	108
Referencia arquitectónica y estructural .....	109
Descripción general .....	109
Tipo de suelo.....	110
Zona sísmica.....	110
Descripción en planta .....	111
Descripción en elevación .....	112
Dimensiones de elementos estructurales .....	112

Secciones de columnas .....	113
Dimensiones de los elementos estructurales .....	113
Secciones de vigas.....	114
Secciones de losas.....	117
Especificaciones de los materiales.....	118
Resistencia a la compresión del hormigón .....	118
Módulo de elasticidad .....	118
Esfuerzo de fluencia del acero .....	118
Análisis de cargas.....	118
Cargas permanentes .....	118
Peso de vigas.....	119
Peso de columnas .....	119
Peso de losa .....	120
Peso de paredes.....	120
Peso de acabados.....	121
Cargas temporales .....	122
Cortante basal de diseño .....	122
Combinaciones de cargas .....	126
Resumen .....	126
Ensayos no destructivos.....	127

Pachómetro.....	127
Resultados.....	127
Esclerómetro.....	128
Resultados.....	128
Instrumentación.....	131
Capítulo 5.....	132
Modelamiento y Análisis de la Unidad Educativa 1.....	132
Consideraciones del modelo en SeismoStruct.....	132
Materiales .....	132
Secciones.....	132
Análisis de cargas .....	133
Espectro de diseño.....	135
Objetivos de desempeño .....	136
Procesamiento de datos .....	137
Comparación con el modelo .....	143
Resultados.....	144
Análisis no lineal estático adaptativo (Pushover) basado en fuerzas.....	144
Determinación de Tiempo de recuperación .....	146
PACT.....	146
Modelo Poblacional .....	147

Grupos de Fragilidades .....	147
Grupo de desempeño .....	148
Curva de fragilidad .....	149
Modos de colapso .....	150
Resultados del análisis estructural.....	151
Resultados.....	151
Resultados herramienta PACT .....	151
Resumen de los resultados .....	154
Recomendaciones específicas Unidad Educativa 1 .....	154
Capítulo 6.....	156
Unidad Educativa 2 .....	156
Ubicación UE2.....	156
Referencia arquitectónica y estructural .....	157
Descripción general .....	157
Tipo de suelo.....	158
Zona sísmica.....	159
Descripción del edificio en planta.....	159
Descripción del edificio en elevación.....	160
Dimensiones de elementos estructurales .....	161
Secciones de columnas .....	161

Secciones de las vigas .....	162
Características de las losas.....	163
Especificaciones de los materiales.....	163
Resistencia del hormigón a la compresión .....	163
Módulo de elasticidad .....	164
Esfuerzo de fluencia del acero .....	164
Análisis de cargas.....	164
Cargas permanentes .....	164
Peso de vigas.....	165
Peso de columnas .....	166
Peso de losa .....	167
Peso de paredes.....	169
Peso de acabados.....	170
Cargas temporales .....	171
Combinaciones de cargas .....	171
Resumen .....	172
Cortante basal de diseño .....	173
Ensayos no destructivos.....	176
Pachómetro.....	176
Esclerómetro.....	177

Capítulo 7.....	181
Modelamiento y Análisis de la Unidad Educativa 2.....	181
Consideraciones del modelo en SeismoStruct.....	181
Materiales .....	181
Secciones.....	181
Análisis de cargas .....	182
Objetivos de desempeño .....	185
Procesamiento de datos .....	185
Comparación con el modelo .....	192
Resultados.....	192
Análisis estático no lineal o pushover adaptativo basado en fuerzas .....	192
Determinación de Tiempo de recuperación .....	194
PACT.....	194
Modelo Poblacional .....	195
Grupos de Fragilidades .....	196
Grupo de desempeño .....	197
Curva de fragilidad .....	198
Modos de colapso .....	199
Resultados.....	200
Resultados del análisis estructural.....	200

Resultados herramienta PACT .....	200
Recomendaciones específicas Unidad Educativa 2 .....	204
Capítulo 8.....	206
Unidad Educativa 3 .....	206
Referencia arquitectónica y estructural .....	207
Descripción general .....	208
Tipo de suelo.....	209
Zona sísmica.....	210
Descripción en planta .....	210
Descripción del edificio en elevación.....	211
Patologías estructurales.....	211
Dimensiones de elementos estructurales .....	212
Secciones de columnas .....	212
Secciones de vigas.....	213
Características de las losas.....	213
Materiales .....	214
Análisis de cargas.....	214
Cargas permanentes .....	214
Peso de vigas.....	214
Peso de columnas .....	215



Peso de losa .....	216
Peso de paredes.....	216
Peso de acabados.....	217
Cargas temporales .....	218
Combinaciones de cargas .....	220
Coefficiente de Regularidad en Planta.....	221
Cortante basal de diseño .....	221
Ensayos no destructivos.....	226
Pachómetro.....	226
Esclerómetro.....	226
Instrumentación.....	230
Capítulo 9.....	232
Modelamiento y Análisis de la Unidad Educativa 3.....	232
Consideraciones del modelo en SeismoStruct.....	232
Materiales .....	232
Secciones.....	232
Secciones de mampostería .....	233
Análisis de cargas .....	233
Objetivos de desempeño .....	237
Procesamiento de datos .....	238

Comparación con el modelo .....	251
Resultados.....	252
Análisis estático No Lineal o Pushover adaptativo basado en fuerzas .....	252
Resultados de los análisis.....	261
Determinación de Tiempo de recuperación .....	261
PACT .....	261
Modelo Poblacional .....	263
Grupos de fragilidades .....	264
Grupo de desempeño .....	265
Curva de fragilidad .....	266
Modos de colapso .....	267
Resultados.....	268
Resultados del análisis estructural.....	268
Resultados herramienta PACT .....	269
Recomendaciones específicas Unidad Educativa 3 .....	278
Capítulo 10.....	280
Conclusiones y recomendaciones.....	280
Conclusiones .....	280
Recomendaciones.....	281
Referencias bibliográficas .....	283

Anexos..... 289

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Valores para el factor de modificación “c <sub>o</sub> ” propuesto por el ASCE 41-17 .....	71
<b>Tabla 2</b> Valores propuestos por el ASCE 41-17 para el factor de masa efectiva “c <sub>m</sub> ” ...	72
<b>Tabla 3</b> Niveles de amenaza sísmica.....	74
<b>Tabla 4</b> Objetivos de desempeño estructural.....	76
<b>Tabla 5</b> Coordenadas geográficas bloque 2_3 de la UE1.....	108
<b>Tabla 6</b> Cuadro resumen de columnas del bloque de estudio UE1.....	113
<b>Tabla 7</b> Cuadro resumen de vigas de entrepiso del bloque de estudio UE1 .....	114
<b>Tabla 8</b> Cuadro resumen de vigas de cubierta del bloque de estudio UE1 .....	116
<b>Tabla 9</b> Parámetro geométrico de la losa.....	117
<b>Tabla 10</b> Análisis del peso total de vigas del bloque 2_3 .....	119
<b>Tabla 11</b> Análisis del peso total de columnas del bloque 2_3.....	120
<b>Tabla 12</b> Análisis del peso total de la losa del bloque 2_3 .....	120
<b>Tabla 13</b> Detalle geométricas de la mampostería del bloque 2_3 .....	121
<b>Tabla 14</b> Detalle de pesos por acabados ue2 .....	121
<b>Tabla 15</b> Carga viva implementada .....	122
<b>Tabla 17</b> Parámetros para espectro de diseño elástico de la ue1.....	122
<b>Tabla 18</b> Coeficientes para el cortante basal para el bloque 2_3 de la ue1.....	124
<b>Tabla 19</b> Coeficientes para el cortante basal para el bloque 2_3 de la ue1.....	125
<b>Tabla 20</b> Tabla para el cálculo de las cargas laterales presentadas en el bloque 2_3 de la ue1 .....	125
<b>Tabla 16</b> Sumatoria de cargas actuantes en el bloque de análisis de la ue1.....	126
<b>Tabla 21</b> Registro de rebotes por golpe .....	128
<b>Tabla 22</b> Factor de corrección de carbonatación .....	130

<b>Tabla 23</b> <i>Secciones de elementos estructurales: vigas y columnas</i> .....	132
<b>Tabla 24</b> <i>Valores definidos en el módulo fase de control de la respuesta</i> .....	134
<b>Tabla 25</b> <i>Valores para el diseño del espectro de respuesta</i> .....	135
<b>Tabla 26</b> <i>Objetivos de desempeño</i> .....	136
<b>Tabla 27</b> <i>Modos de vibración representados en frecuencia y período</i> .....	143
<b>Tabla 28</b> <i>Información elemental de la estructura para análisis de tiempo de recuperación</i> .....	146
<b>Tabla 29</b> <i>Grupos de desempeño del bloque 2_3</i> .....	148
<b>Tabla 30</b> <i>Grupos de desempeño del bloque 2_3</i> .....	150
<b>Tabla 31</b> <i>Resultados del análisis estático</i> .....	151
<b>Tabla 32</b> <i>Coordenadas geográficas de la UE2</i> .....	156
<b>Tabla 33</b> <i>Secciones de columnas existentes en el bloque de la UE2</i> .....	161
<b>Tabla 34</b> <i>Detalles de las vigas del bloque de la UE2</i> .....	162
<b>Tabla 35</b> <i>Longitud y área de vigas para un piso típico</i> .....	165
<b>Tabla 36</b> <i>Longitud y área de columnas para un piso típico</i> .....	166
<b>Tabla 37</b> <i>Área de mampostería por piso</i> .....	169
<b>Tabla 38</b> <i>Peso por unidad de superficie en muros de bloque y ladrillo</i> .....	169
<b>Tabla 39</b> <i>Detalle de pesos por acabados UE2</i> .....	170
<b>Tabla 40</b> <i>Carga viva implementada</i> .....	171
<b>Tabla 41</b> <i>Sumatoria de cargas actuantes en el bloque de análisis de la UE2</i> .....	172
<b>Tabla 42</b> <i>Resumen de las cargas permanentes ue2</i> .....	172
<b>Tabla 43</b> <i>Parámetros para espectro de diseño elástico de la UE2</i> .....	173
<b>Tabla 44</b> <i>Parámetros para cortante basal</i> .....	174
<b>Tabla 45</b> <i>Coeficientes para el cortante basal para el bloque de la UE2</i> .....	176

<b>Tabla 46</b> Coeficientes para el cortante basal para el bloque de la UE2 .....	176
<b>Tabla 47</b> Registro de rebotes por golpe .....	178
<b>Tabla 48</b> <i>Secciones de vigas y columnas para modelamiento</i> .....	181
<b>Tabla 49</b> <i>Estructura de ingreso de cargas en Seismostruct</i> .....	182
<b>Tabla 50</b> <i>Valores definidos en el módulo fase de control de respuesta</i> .....	183
<b>Tabla 51</b> <i>Valores para el diseño del espectro de respuesta UE2</i> .....	184
<b>Tabla 52</b> <i>Comparación de modos de vibración modelados y ensayados</i> .....	192
<b>Tabla 53</b> <i>Información elemental de la estructura para análisis de determinación de tiempo de recuperación</i> .....	194
<b>Tabla 54</b> <i>Grupos de desempeño del piso 1, 2 y 3</i> .....	197
<b>Tabla 55</b> <i>Grupos de desempeño del piso 4 y terraza</i> .....	197
<b>Tabla 56</b> <i>Grupos de desempeño del bloque</i> .....	199
<b>Tabla 57</b> <i>Cuadro resumen de los resultados del análisis estático lineal</i> .....	200
<b>Tabla 58</b> <i>Coordenadas geográficas de UE3</i> .....	206
<b>Tabla 59</b> <i>Secciones de columnas de laboratorios de la UE3</i> .....	212
<b>Tabla 60</b> <i>Secciones de vigas de laboratorios de la UE3</i> .....	213
<b>Tabla 61</b> <i>Propiedades de los materiales en el plano de los bloques 1 y 2</i> .....	214
<b>Tabla 62</b> <i>Cálculo de peso de vigas UE3 – Bloque 1 y 2</i> .....	215
<b>Tabla 63</b> <i>Cálculo de peso de columnas UE3 – Bloque 1 y 2</i> .....	215
<b>Tabla 64</b> <i>Cálculo de peso de losa UE3 – bloque 1 y 2</i> .....	216
<b>Tabla 65</b> <i>Cálculo de peso de mampostería UE3 – Bloque 1 y 2</i> .....	217
<b>Tabla 66</b> <i>Detalle de pesos por acabados UE3 – Bloque 1 y 2</i> .....	218
<b>Tabla 67</b> <i>Cargas temporales de acuerdo a NEC-SE-CG</i> .....	218
<b>Tabla 68</b> <i>Parámetros para espectro de diseño elástico de la UE3</i> .....	222

<b>Tabla 69</b> <i>Parámetros para cortante basal de UE3</i> .....	223
<b>Tabla 70</b> <i>Coefficientes para el cortante basal para el bloque 1 de UE3</i> .....	225
<b>Tabla 71</b> <i>Coefficientes para el cortante basal para el bloque 2 de UE3</i> .....	225
<b>Tabla 72</b> <i>Cargas sísmicas por piso de bloque 1 de UE3</i> .....	225
<b>Tabla 73</b> <i>Cargas sísmicas por piso del bloque 2 de UE3</i> .....	225
<b>Tabla 74</b> <i>Registro de las lecturas del esclerómetro columnas bloque 1</i> .....	227
<b>Tabla 75</b> <i>Registro de las lecturas del esclerómetro columnas bloque 2</i> .....	228
<b>Tabla 76</b> <i>Resistencia del hormigón en bloques 1 y 2 de la UE3</i> .....	230
<b>Tabla 77</b> <i>Valores de materiales para modelamiento de la UE3</i> .....	232
<b>Tabla 78</b> <i>Secciones de elementos vigas, columnas y nomenclatura para modelamiento de la UE3</i> .....	232
<b>Tabla 79</b> <i>Valores definidos en el módulo fase de control de respuesta</i> .....	235
<b>Tabla 80</b> <i>Valores para el diseño del espectro de respuesta de la UE3</i> .....	236
<b>Tabla 81</b> <i>Niveles de desempeño tabla C2-2 ASCE 41-13</i> .....	237
<b>Tabla 82</b> <i>Comparación de modos de vibración modelados y ensayados del bloque 1</i> ....	251
<b>Tabla 83</b> <i>Comparación de modos de vibración modelados y ensayados del bloque 2</i> ....	252
<b>Tabla 84</b> <i>Información básica para determinación del tiempo de recuperación – B1</i> .....	262
<b>Tabla 85</b> <i>Información básica para determinación del tiempo de recuperación – B2</i> .....	262
<b>Tabla 86</b> <i>Grupos de desempeño para bloque 1 de laboratorios</i> .....	265
<b>Tabla 87</b> <i>Grupos de desempeño para bloque 2 de laboratorios</i> .....	265
<b>Tabla 88</b> <i>Consecuencias de colapso del bloque 1 y 2 de laboratorios</i> .....	267
<b>Tabla 89</b> <i>Resultados del análisis estático del bloque 1 – UE3</i> .....	268
<b>Tabla 90</b> <i>Resultados del análisis estático del bloque 2 – UE3</i> .....	268

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Peligro sísmico para área de estudio .....	55
<b>Figura 2</b> Equilibrio dinámico en un sistema de 1 gdl .....	58
<b>Figura 3</b> Esquema para la determinación de espectros de respuesta.....	60
<b>Figura 4</b> Espectro de diseño elástico .....	62
<b>Figura 5</b> Modos de vibración de pórticos planos.....	63
<b>Figura 6</b> Esquema utilización de análisis no lineales .....	64
<b>Figura 7</b> Secuencia del proceso de análisis Pushover.....	65
<b>Figura 8</b> Diagrama de flujo para la realización de un análisis no lineal estático .....	65
<b>Figura 9</b> Mecanismo de colapso deseado y no deseado .....	68
<b>Figura 10</b> Relación momento curvatura y momento rotación .....	68
<b>Figura 11</b> Esquema de una curva de capacidad.....	69
<b>Figura 12</b> Curvas de componentes fuerzas vs deformación.....	77
<b>Figura 13</b> Criterios de aceptación .....	80
<b>Figura 14</b> Esclerómetro para hormigón ht-225, martillo Schmidt 10-60 MPa .....	82
<b>Figura 15</b> Curva de conversión martillo Schmidt.....	83
<b>Figura 16</b> <i>Esclerómetro</i> .....	97
<b>Figura 17</b> <i>Lija circular</i> .....	97
<b>Figura 18</b> <i>Edificación de análisis y nomenclatura de coordenadas</i> .....	108
<b>Figura 19</b> <i>Planos arquitectónicos y estructurales</i> .....	109
<b>Figura 20</b> <i>Fachada norte de la UE1</i> .....	110
<b>Figura 21</b> <i>Vista en planta del bloque 2-3 UE1</i> .....	111
<b>Figura 22</b> <i>Vista en elevación bloque 2_3 UE1</i> .....	112
<b>Figura 23</b> <i>Corte típico de losa</i> .....	117



<b>Figura 24</b> <i>Espectro elástico de diseño UE1</i> .....	123
<b>Figura 25</b> <i>Evidencia del ensayo del Pachómetro en la UE1</i> .....	127
<b>Figura 26</b> <i>Evidencia del ensayo del esclerómetro en la UE1</i> .....	128
<b>Figura 27</b> <i>Promedio rebote vs resistencia a la compresión</i> .....	129
<b>Figura 28</b> <i>Ubicación de los equipos en el piso 2 y ejes asumidos</i> .....	131
<b>Figura 29</b> <i>Espectros finales de diseño</i> .....	135
<b>Figura 30</b> <i>Proceso de selección sentido x en Geopsy-CX</i> .....	137
<b>Figura 31</b> <i>Proceso de selección sentido y en Geopsy-DY</i> .....	138
<b>Figura 32</b> <i>Herramientas de identificación en sentido "X"</i> .....	138
<b>Figura 33</b> <i>Herramientas de identificación en sentido "Y"</i> .....	139
<b>Figura 34</b> <i>Primer modo de vibración y verificación de fase</i> .....	141
<b>Figura 35</b> <i>Segundo modo de vibración y verificación de fase</i> .....	141
<b>Figura 36</b> <i>Tercer modo de vibración y verificación de fase</i> .....	142
<b>Figura 37</b> <i>Distribución de cargas laterales Pushover adaptativo en sentido X</i> .....	144
<b>Figura 38</b> <i>Curva de capacidad del bloque 2_3 en sentido X</i> .....	144
<b>Figura 39</b> <i>Distribución de cargas laterales Pushover adaptativo en sentido Y</i> .....	145
<b>Figura 40</b> <i>Curva de capacidad de la estructura en sentido Y</i> .....	145
<b>Figura 41</b> <i>Distribución horaria de la población</i> .....	147
<b>Figura 42</b> <i>Curva de fragilidad de la estructura</i> .....	149
<b>Figura 43</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio</i> .	151
<b>Figura 44</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación</i> .....	152
<b>Figura 45</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el caso más probable</i> .....	153
<b>Figura 46</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo en serie de reparación</i> .....	153

<b>Figura 47</b> Edificación de análisis y nomenclatura de coordenadas .....	156
<b>Figura 48</b> Planos arquitectónicos y estructurales .....	157
<b>Figura 49</b> Fachada norte del bloque de análisis de la unidad educativa 2 .....	158
<b>Figura 50</b> Planta unidad educativa 2 .....	159
<b>Figura 51</b> Esquema elevación de la unidad educativa 2 .....	160
<b>Figura 52</b> Corte típico de losa .....	163
<b>Figura 53</b> Esquema de un metro cuadrado de losa bidireccional .....	167
<b>Figura 54</b> Espectro de diseño UE2.....	174
<b>Figura 55</b> Evidencia del ensayo del pachómetro en la UE2.....	177
<b>Figura 56</b> Evidencia del ensayo del esclerómetro en la UE2 .....	177
<b>Figura 57</b> Promedio rebote vs resistencia a la compresión.....	179
<b>Figura 58</b> Espectros de respuesta UE2 .....	184
<b>Figura 59</b> Configuración para la instrumentación piso 2 .....	185
<b>Figura 60</b> Configuración para la instrumentación piso 4.....	186
<b>Figura 61</b> Proceso de selección en Geopsy sentido X.....	186
<b>Figura 62</b> Proceso de selección en Geopsy sentido Y.....	187
<b>Figura 63</b> Herramientas de identificación en sentido “X” .....	188
<b>Figura 64</b> Herramientas de identificación en sentido “Y” .....	189
<b>Figura 65</b> Primer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase .....	190
<b>Figura 66</b> Segundo modo de vibrar y verificación de ángulos de fase.....	191
<b>Figura 67</b> Tercer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase.....	191
<b>Figura 68</b> Distribución de cargas laterales pushover adaptativo en sentido X.....	192
<b>Figura 69</b> Curva de capacidad del bloque pushover adaptativo X.....	193
<b>Figura 70</b> Distribución de cargas laterales pushover adaptativo en sentido Y.....	193

<b>Figura 71</b> <i>Curva de capacidad del bloque pushover adaptativo Y</i> .....	194
<b>Figura 72</b> <i>Distribución horaria de la población</i> .....	195
<b>Figura 73</b> <i>Curva de fragilidad de la estructura</i> .....	198
<b>Figura 74</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio</i> .	200
<b>Figura 75</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación</i> .....	201
<b>Figura 76</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación</i> .....	202
<b>Figura 77</b> <i>Grupo de fragilidad de daño en todo el edificio</i> .....	202
<b>Figura 78</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el peor de los casos</i> .....	202
<b>Figura 79</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo serial de reparación en el peor de los casos</i> ...	203
<b>Figura 80</b> <i>Edificación de análisis y nomenclatura de coordenadas</i> .....	206
<b>Figura 81</b> <i>Obtención de planos en desarrollo físico de la UE3</i> .....	207
<b>Figura 82</b> <i>Planos estructurales de la UE3</i> .....	208
<b>Figura 83</b> <i>Vista aérea de los laboratorios de la UE3</i> .....	209
<b>Figura 84</b> <i>Vista en planta de UE3</i> .....	210
<b>Figura 85</b> <i>Esquema niveles de la estructura</i> .....	211
<b>Figura 86</b> <i>Corte típico de losa de la UE3</i> .....	213
<b>Figura 87</b> <i>Equipos de laboratorio en la segunda planta de la UE3</i> .....	219
<b>Figura 88</b> <i>Retroceso excesivo en esquinas <math>\Phi P = 0,9</math></i> .....	221
<b>Figura 89</b> <i>Espectro de diseño UE3</i> .....	223
<b>Figura 90</b> <i>Ensayo del Pachómetro en la UE3</i> .....	226
<b>Figura 91</b> <i>Ensayo del esclerómetro en la UE3</i> .....	227
<b>Figura 92</b> <i>Promedio rebote vs resistencia a la compresión</i> .....	229
<b>Figura 93</b> <i>Ubicación de equipos en el piso 2 y ejes asumidos para la UE3</i> .....	230

<b>Figura 94</b> <i>Espectro final de diseño en SeismoStruct para UE3.....</i>	236
<b>Figura 95</b> <i>Proceso de selección de registro en sentido X en Geopsy – Bloque 1 .....</i>	239
<b>Figura 96</b> <i>Proceso de selección de registro en sentido Y en Geopsy – Bloque 1 .....</i>	239
<b>Figura 97</b> <i>Proceso de selección de registro en sentido X en Geopsy – Bloque 2 .....</i>	240
<b>Figura 98</b> <i>Proceso de selección de registro en sentido Y en Geopsy – Bloque 2 .....</i>	241
<b>Figura 99</b> <i>Herramientas de identificación en sentido X - Bloque 1 .....</i>	242
<b>Figura 100</b> <i>Herramientas de identificación en sentido Y - Bloque 1 .....</i>	243
<b>Figura 101</b> <i>Herramientas de identificación en sentido X - Bloque 2 .....</i>	245
<b>Figura 102</b> <i>Herramientas de identificación en sentido Y - Bloque 2 .....</i>	246
<b>Figura 103</b> <i>Primer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 1 .....</i>	247
<b>Figura 104</b> <i>Segundo modo de vibrar y verificación de ángulos de fase bloque 1 .....</i>	248
<b>Figura 105</b> <i>Tercer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 1 .....</i>	248
<b>Figura 106</b> <i>Primer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 2 .....</i>	249
<b>Figura 107</b> <i>Segundo modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 2 .....</i>	250
<b>Figura 108</b> <i>Tercer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 2 .....</i>	250
<b>Figura 109</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 1 – Caso 1252</i>	
<b>Figura 110</b> <i>Curva de capacidad en sentido X del bloque 1 – Caso 1 .....</i>	253
<b>Figura 111</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 1 – Caso 1253</i>	
<b>Figura 112</b> <i>Curva de capacidad en sentido Y del bloque 1 – Caso 1 .....</i>	254
<b>Figura 113</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 2 – Caso 1255</i>	
<b>Figura 114</b> <i>Curva de capacidad en sentido X del bloque 2 – Caso 1 .....</i>	255
<b>Figura 115</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 2 – Caso 1256</i>	
<b>Figura 116</b> <i>Curva de capacidad en sentido Y del bloque 2 – Caso 1 .....</i>	256
<b>Figura 117</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 1 – Caso 2257</i>	

<b>Figura 118</b> <i>Curva de capacidad en sentido X del bloque 1 – Caso 2</i> .....	257
<b>Figura 119</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 1 – Caso 2</i>	258
<b>Figura 120</b> <i>Curva de capacidad en sentido Y del bloque 1 – Caso 2</i> .....	258
<b>Figura 121</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 2 – Caso 2</i>	259
<b>Figura 122</b> <i>Curva de capacidad en sentido X del bloque 2 – Caso 2</i> .....	259
<b>Figura 123</b> <i>Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 2 – Caso 2</i>	260
<b>Figura 124</b> <i>Curva de capacidad en sentido Y del bloque 2 – Caso 2</i> .....	260
<b>Figura 125</b> <i>Distribución horaria de la población en bloques de la UE3</i> .....	263
<b>Figura 126</b> <i>Curva de fragilidad de la estructura del bloque 1 de laboratorios</i> .....	266
<b>Figura 127</b> <i>Curva de fragilidad de la estructura del bloque 2 de laboratorios</i> .....	267
<b>Figura 128</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio del bloque 1</i> .....	269
<b>Figura 129</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio del bloque 2</i> .....	270
<b>Figura 130</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación para el bloque 1</i> .....	270
<b>Figura 131</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación para el bloque 2</i> .....	271
<b>Figura 132</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el peor de los casos del bloque 1</i> .....	272
<b>Figura 133</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el peor de los casos del bloque 2</i> .....	272
<b>Figura 134</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo de reparación para el bloque 1</i> .	273
<b>Figura 135</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo de reparación para el bloque 2</i> .	274
<b>Figura 136</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación límite del bloque 1</i> .....	274

<b>Figura 137</b> <i>Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación límite del bloque 2</i> .....	275
<b>Figura 138</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo límite de reparación para el bloque 1</i> .....	276
<b>Figura 139</b> <i>Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo límite de reparación para el bloque 2</i> .....	276
<b>Figura 140</b> <i>Comparación de curvas de probabilidad Bloque 1 y 2</i> .....	277

## Resumen

El proyecto de investigación generó recomendaciones técnicas para mejorar los entornos constructivos de tres edificaciones de ocupación especial ubicadas en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui en la ciudad de Sangolquí, Ecuador. Las recomendaciones se enfocaron en determinar y mejorar los tiempos de recuperación, en relación al comportamiento estructural y con base en la resiliencia ante eventos sísmicos. Para ello fue necesario caracterizar las estructuras de estudio obteniendo sus propiedades físicas mediante verificación de información técnica, planos y con ensayos in situ, mientras que para obtener las propiedades dinámicas se llevó a cabo un proceso de instrumentación sísmica mediante el uso de acelerómetros generando registros respecto a la vibración ambiental, lo que permitió la calibración del modelo estructural computacional. Con el modelo estructural calibrado se obtuvo el desempeño de la edificación haciendo uso del software SeismoStruct. El análisis fue del tipo estático no lineal (pushover adaptativo) de acuerdo con los objetivos de desempeño sísmico requeridos para estructuras de ocupación especial, todo esto siguiendo lineamientos de normativas nacionales e internacionales. Finalmente, a través de la herramienta PACT de la metodología FEMA P-58 se estimaron los tiempos de reconstrucción y se establecieron medidas de acción específicas para cada estructura considerando sus características y patologías determinadas a lo largo del estudio.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **TIEMPO DE REOCUPACIÓN**
- **ESTRUCTURAS DE OCUPACIÓN ESPECIAL**
- **INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA**
- **ANÁLISIS NO LINEAL**
- **PACT**

### **Abstract**

The research project generated technical recommendations to improve the construction environments of three special occupancy buildings located in the province of Pichincha, canton Rumiñahui, in the city of Sangolquí, Ecuador. The recommendations focused on determining and improving recovery times, in relation to structural behavior and based on resilience to seismic events. For this purpose, it was necessary to characterize the study structures by obtaining their physical properties through verification of technical information, drawings and in situ tests, while to obtain the dynamic properties, a seismic instrumentation process was carried out through the use of accelerometers generating records regarding the environmental vibration, which allowed the calibration of the computational structural model. With the calibrated structural model, the performance of the building was obtained using SeismoStruct software. The analysis was of the nonlinear static type (adaptive pushover) according to the seismic performance objectives required for special occupancy structures, following the guidelines of national and international standards. Finally, through the PACT tool of the FEMA P-58 methodology, reconstruction times were estimated and specific action measures were established for each structure considering its characteristics and pathologies determined throughout the study.

#### **KEYWORDS:**

- **REOCCUPANCY TIME**
- **SPECIAL OCCUPANCY STRUCTURES**
- **SEISMIC INSTRUMENTATION**
- **NONLINEAR ANALYSIS**
- **PACT**



## Capítulo I

### Generalidades

#### Introducción

El Ecuador presenta una actividad sísmica alta, lo cual ha generado enormes pérdidas humanas como también ciudades enteras destruidas. La alta probabilidad de que nuevos escenarios sísmicos se presenten indica que como sociedad es necesario desarrollar proyectos en pro de la reducción del riesgo sísmico. Con especial énfasis para las edificaciones esenciales y de ocupación especial cuyas actividades no pueden cesar luego de un sismo, sobre todo cuando un desastre natural ha provocado el colapso de otras edificaciones (MIDUVI, 2014).

En la actualidad los códigos de diseño y rehabilitación vigentes en el Ecuador tienen un enfoque en la resistencia de las estructuras bajo una filosofía de salvar vidas y evitar el colapso de las edificaciones después de un evento sísmico. Sin embargo, conceptos como el tiempo de reocupación y reocupación funcional para las estructuras no cuentan con metodologías de diseño o evaluación ante las mencionadas eventualidades, presentando únicamente un apartado opcional para cuantificar las pérdidas económicas esperadas por la interrupción de servicios después de un terremoto.

El enfoque respecto a la resiliencia estructural de las edificaciones especiales y su relación con el tiempo de reocupación se debe a que, si bien se debe mantener presentes los conceptos vigentes para salvar vidas y evitar colapsos, también se debe pensar en obtener una resiliencia comunitaria, buscando evitar la suspensión de actividades y servicios que repercuten en altos costos y efectos después de estos eventos sísmicos, pensando en la recuperación de una comunidad en un tiempo razonable.

Los avances en las metodologías de diseño y resiliencia sísmica hacen necesario que se piense en intervenir las edificaciones existentes, muchas veces diseñadas con estándares menos

exigentes propios de la época, prestando especial atención a aquellas edificaciones pertenecientes al grupo de ocupación especial y funcionalidad continua donde son necesarias medidas constructivas que mejoren su desempeño en búsqueda de mantener su operabilidad y funcionalidad

Es así que se busca generar un acercamiento a la filosofía de tiempo de recuperación funcional relacionando los conceptos vigentes de la vulnerabilidad sísmica de una estructura, resiliencia, reparación y rehabilitación de estructuras con recomendaciones, acciones de mejora para que una edificación de línea de vida sea funcionalmente recuperable en un tiempo determinado.

Este estudio propone la evaluación estructural de 3 edificaciones de ocupación especial, con el fin de garantizar los criterios de funcionalidad continua y plantear recomendaciones sísmicas basadas en la recuperación, tiempo de recuperación funcional posterior a un terremoto y mejorar sus entornos constructivos.

### **Antecedentes**

Ecuador es considerado un país con alta sismicidad, esto se debe a que se encuentra en el anillo de Fuego del Pacífico, a la par su normativa de construcción no incluyó un concepto de diseño sísmico basado en fuerzas estimadas hasta el año 1977, tomando como base el código UBC 1974 americano (MIDUVI & SNGR, 2016). Cabe destacar que hasta esta fecha ya existían instrumentos de medición sísmica y se registraron 17 sismos con magnitudes que superan los 6.5 en la escala de Richter desde los años 1900 hasta 1970, de los cuales destaca el “Gran Terremoto de Esmeraldas” este suceso tuvo una magnitud de 8.8 en la misma escala y su epicentro se produjo en el sector de Chontaduro, siendo este uno de los sismos más grandes registrados (Moncayo, Velasco, Mora, Montenegro, & Cordova, 2017).

En 1998 específicamente el 4 de agosto, se produce un sismo de 7.1 de magnitud en la escala de Richter con el epicentro en la ciudad de Bahía de Caráquez, este sismo represento algo importante puesto que dejó en evidencia las fallas del diseño sismorresistente presentado en la normativa de 1977, por tanto se desarrolla el “Código Ecuatoriano de la Construcción” 2001 como actualización del código UBC 1997, que incluía requisitos para el modelado y diseño actualizados a la tecnología disponible de la época (MIDUVI & SNGR, 2016). Al día de hoy la “Norma Ecuatoriana de la Construcción” 2015 se encuentra en vigencia como una actualización de CEC-2001.

Así mismo, el 16 de abril del año 2016 el territorio ecuatoriano fue golpeado por un sismo de 7.8 de magnitud, exponiendo más patologías que afrontan las construcciones en el Ecuador, como la elevada informalidad en la construcción y sus fuertes efectos en el bajo desempeño sísmico. Esto se debe a una falta de seguimiento a los lineamientos existentes y la necesidad de una mayor rigurosidad para poder afrontar altos niveles de amenaza (Aguar & Mieles, 2016).

### **Planteamiento del problema**

Los riesgos sísmicos que pudiesen llegar a sufrir una edificación de cualquier índole lograrían generar perjuicios en las comunidades, estos sucesos resultan en pérdidas de vida, desplazamientos humanos, suspensión de servicios básicos e impactos en el entorno social y económico. Sucesos cuyos efectos catastróficos pueden mitigarse con la implementación de diseños resilientes y mejoras en los entornos constructivos de las edificaciones existentes. Medidas a tener en cuenta especialmente en zonas de alto riesgo sísmico, pues, de acuerdo con lo mencionado por (Sattar, y otros, 2021):

En regiones de alto riesgo sísmico donde no ha ocurrido un terremoto durante algún tiempo, los estudios de escenarios predicen muertes por miles, lesiones por decenas de

miles. En todos los casos, la pérdida de vidas y propiedades, y los impactos negativos en la economía, son el resultado directo de la incapacidad del entorno construido para resistir los efectos de los terremotos y otros desastres naturales.

El Ecuador debido a su localización se le otorga un nivel alto de amenaza sísmica, lo que sugiere la aplicación de medidas estructurales que garanticen un correcto desempeño sísmico, con el fin de disminuir la vulnerabilidad sísmica y funcional, además de permitir la posterior reocupación en edificaciones de ocupación especial mismas que (engloban, pertenecen, acogen) los centros educativos.

Según el informe de la evaluación de reconstrucción del sismo ocurrido en Bahía de Caráquez del año 2016, presentó 1935 centros educativos de los cuales 1037 no sufrieron daños y el resto tuvieron algún grado de afectación (45,2 %). Los establecimientos de educación básica fueron los más perjudicados con un 78,2%. Teniendo un 10,4% de afectaciones en equipamiento y el 89,6% en infraestructura. La reconstrucción en el subsector educativo tuvo un valor aproximado de 368,9 MM USD, que ascendió en 27,3 MM USD debido a la reducción de horas lectivas por afectaciones en la infraestructura y debido al uso de escuelas como albergues. Además de un valor adicional de 26,4 MM USD como una aproximación por todo el tiempo en donde los profesores dejaron de laborar debido a los trabajos que se deben realizar para la reconstrucción y rehabilitación de la estructura (Senplades, 2016).

Las estructuras evaluadas en este estudio son tres edificaciones de uso especial localizadas en el cantón Rumiñahui, bloques estructurales debidamente seleccionados de acuerdo a diferentes parámetros estructurales, parámetros de ocupación y que forman parte de la infraestructura de tres unidades educativas, que corresponden a la Unidad Educativa Marqués de Selva Alegre, la Unidad Educativa Lev Vygotsky y la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Luego de eventos desastrosos, como se ha señalado, las estructuras esenciales y especiales tienen un rol valioso apoyando a la población como refugios y centros de atención médica, lo que implica garantizar la reocupación posterior a un terremoto y un tiempo de recuperación funcional óptimo. Los resultados del proyecto permitirán definir recomendaciones para diseño y construcción basadas en resiliencia sísmica como aporte a los gestores de cambio.

### **Justificación e Importancia**

La normativa NEC-15 detalla que las estructuras de ocupación especial son aquellas que caen en la categoría de:

Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas.

Edificios públicos que requieren operar continuamente (MIDUVI, 2014).

Debido a la infrecuencia de los eventos sísmicos no se les presta la importancia requerida e históricamente han sido eventos sísmicos los que han demostrado las falencias en estructuras. Las estructuras de ocupación especial requieren una atención prioritaria pues albergan una gran cantidad de personas en todo rango de edad. Estas estructuras presentan especial importancia en la planificación, uso de espacios y ejecución de planes luego de un evento catastrófico. En específico las unidades educativas representan un caso único ya que también tienen una responsabilidad social con la comunidad al ser uno de los eslabones de la rutina diaria de las familias ecuatorianas, cuya suspensión de servicios afectaría el correcto desarrollo de la comunidad (FEMA, 2017).

En muchos casos las edificaciones de los centros educativos permanecen años sin un mantenimiento adecuado, lo cual genera vulnerabilidad a diversos desastres naturales. Estas estructuras pueden seleccionarse como refugios o centros de acopio al presentarse un desastre, cobrando aún más importancia la necesidad de evaluar estructuras y verificar su resiliencia.

Adicionalmente se debe considerar otros elementos que amenazan la seguridad de sus ocupantes como son los sistemas no estructurales y sus componentes (FEMA, 2017).

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Establecer recomendaciones sísmicas para prácticas de diseño y construcción de edificaciones especiales basadas en resiliencia (reocupación posterior a terremoto y tiempo de recuperación funcional).

### ***Objetivos específicos***

- Realizar reconocimiento de campo y ensayos para la verificación de la condición estructural de las unidades educativas seleccionadas.
- Elaborar modelamiento numérico en software especializado de la edificación seleccionada de cada una de las unidades educativas.
- Analizar los resultados experimentales y analíticos obtenidos.
- Determinar recomendaciones basadas en resiliencia sísmica.

## **Descripción del contenido**

### ***Capítulo 1***

El primer capítulo presenta un sucinto vistazo del proyecto a desarrollarse, partiendo de las interrogantes: ¿Qué?, ¿Cómo? y ¿Por qué?; esenciales para el planteamiento inicial del proyecto, delimitando su alcance y señalando todas las actividades necesarias para poder cumplir con éxito la finalidad de este proyecto.

### ***Capítulo 2***

En este apartado se presenta el material teórico requerido para un desarrollo correctamente sustentado y eficaz del proyecto. En esta sección se encuentran citadas diferentes normas utilizadas para este proyecto, tanto en el análisis estructural cualitativo como

cuantitativo, y los diferentes ensayos y requerimientos para recopilar toda la información necesaria para ejecutar los ya mencionados análisis.

### **Capítulo 3**

En esta sección del proyecto se identifican y describen los diferentes conjuntos de pasos y procedimientos esenciales para el desarrollo del proyecto, enfocado especialmente en las operaciones a seguir en campo para los ensayos en las edificaciones y protocolos necesarios para el correcto modelamiento computacional de la estructura y su correspondiente obtención de resultados con base en la información de los diferentes bloques estructurales.

### **Capítulo 4**

Esta sección presenta toda la información técnica de la edificación seleccionada de la unidad educativa Marqués de Selva Alegre, requerida para el óptimo desarrollo del proyecto y sus objetivos. El apartado presenta información como la caracterización del suelo de implantación, geometría general, geometría específica, Análisis de cargas y el detalle del desarrollo y análisis de ensayos no destructivos ejecutados en la zona de estudio.

### **Capítulo 5**

Este capítulo detalla el modelamiento de la edificación seleccionada de la unidad educativa Marqués de Selva Alegre en el software SeismoStruct, teniendo en cuenta los diferentes aspectos técnicos que la caracterizan. Asimismo, se realiza un análisis no lineal estático adaptativo (Pushover) y se analizan los resultados.

Se realiza el análisis para la determinación del tiempo de recuperación de la edificación, con la ayuda de la herramienta PACT. Se toma consideraciones como el modelo poblacional, curvas de fragilidad, grupos de desempeño, modos de colapso y grupos de fragilidad. Al finalizar se presentan los resultados y recomendaciones para la estructura.

## **Capítulo 6**

El capítulo seis presenta toda la información técnica de la edificación seleccionada de la unidad educativa Lev Vygotsky, requerida para el óptimo desarrollo del proyecto y sus objetivos. El apartado presenta información como la caracterización del suelo de implantación, geometría general, geometría específica, Análisis de cargas y análisis de ensayos no destructivos ejecutados en la zona de estudio.

## **Capítulo 7**

Este apartado presenta el modelamiento de la edificación seleccionada de la unidad educativa Lev Vygotsky, teniendo en cuenta los diferentes aspectos técnicos que caracterizan a esta. Asimismo, se realiza un análisis no lineal estático adaptativo (Pushover) y se analizan los resultados.

Se realiza el análisis para la determinación del tiempo de recuperación de la edificación, con la ayuda de la herramienta PACT. Se toma consideraciones como el modelo poblacional, curvas de fragilidad, grupos de desempeño, modos de colapso y grupos de fragilidad. Al finalizar se presentan los resultados y recomendaciones para la estructura.

## **Capítulo 8**

El capítulo 8 contiene toda la información técnica de la estructura de los bloques 1 y 2 que corresponden a los laboratorios del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica UFA-ESPE, que corresponde a los. Esta información será requerida para el óptimo desarrollo del proyecto y sus objetivos. El apartado presenta información sobre la caracterización del suelo de implantación, geometría general, geometría específica, análisis de cargas y el detalle del desarrollo y análisis de ensayos no destructivos ejecutados en la zona de estudio.



### **Capítulo 9**

El capítulo 9 presenta el modelamiento de la estructura de los bloques 1 y 2 de los laboratorios del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la UFA-ESPE, considerando los aspectos técnicos que caracterizan a estos. Se prosigue con el análisis de resultados obtenidos en cada estructura mediante un análisis no lineal estático adaptativo (Pushover).

Así mismo, se realiza el análisis para la determinación del tiempo de recuperación de las estructuras, bajo la ayuda de la herramienta PACT. Se toma consideraciones como el modelo poblacional, curvas de fragilidad, grupos de desempeño, modos de colapso y grupos de fragilidad. Los resultados obtenidos son presentados al final, junto a las recomendaciones establecidas para la estructura.

### **Capítulo 10**

En este capítulo se presentan las conclusiones del presente trabajo de investigación y las recomendaciones para la continuidad del estudio en esta área, cumpliendo los objetivos del proyecto, teniendo como base la información referente a las tres unidades educativas y los resultados de los diferentes análisis estructurales, información recopilada a lo largo del proyecto.

## Capítulo 2

### Marco Teórico

#### Riesgo sísmico

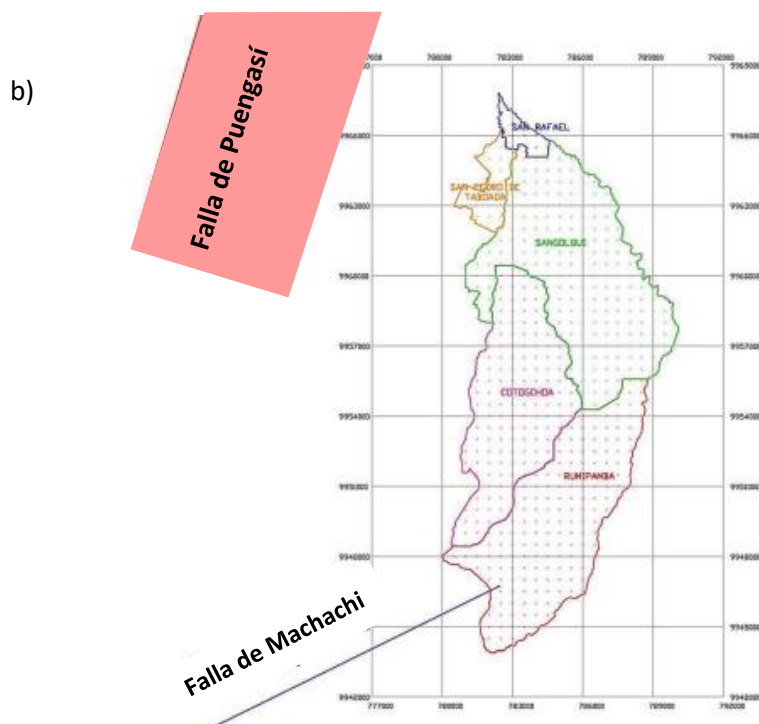
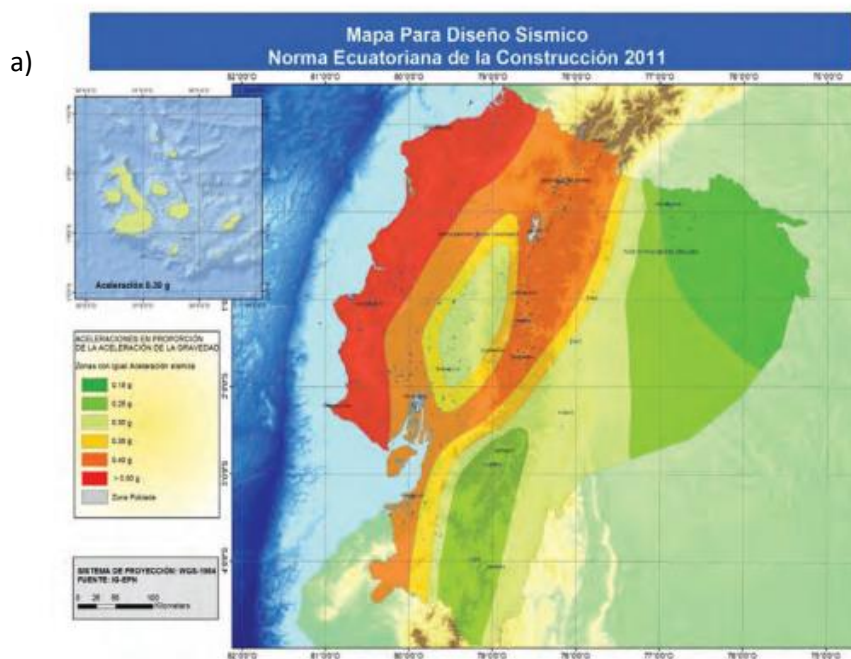
De acuerdo a (MIDUVI, 2014) el riesgo sísmico se halla constituido por 3 componentes: el primero es el nivel de exposición, el segundo peligro sísmico y por último la vulnerabilidad de las estructuras. Como se mencionó previamente, el país se localiza en una zona de alta sismicidad y enfrenta la constante amenaza de grandes sismos, es por eso que a nivel macro la Normativa Ecuatoriana de la Construcción presentó su mapa de zonificación sísmica, mostrado en la figura 1.a., poniendo en evidencia el nivel de exposición al que se puede llegar en base a la ubicación del proyecto o estructura a evaluar.

Como se puede notar en la figura 1.b., la mayor parte del territorio presenta zonas de alta aceleración, esto se debe a que una parte del territorio se encuentra sobre una microplaca perteneciente a la placa Sudamericana conocido como Bloque Andino. La microplaca sobre la que está el territorio ecuatoriano se ha mantenido en constante interacción con la placa de Nazca, Cocos y del Caribe; la mayoría de sismos generados por esta interacción son intraplaca o corticales (Quinde & Reinoso, 2016).

Al momento de realizar un proyecto específico, es recomendable realizar un estudio de peligrosidad sísmica, de manera que se caracterice de forma precisa los movimientos a los que se puede enfrentar la estructura a diseñar o evaluar.

#### Figura 1

*Peligro sísmico para área de estudio*



Nota: a) Tomado de *NEC-SE-DS*, por (MIDUVI, 2014) ; b) Tomado de *Espectros de Control para el Valle de los Chillos*, por (Aguiar, Quizanga, & Chicaiza, 2017).

### ***Peligrosidad sísmica en el Valle de los Chillos***

Históricamente hablando, el Valle de los Chillos ha sufrido sismos que han generado afectaciones graves, y con magnitudes que han ido desde 5.8 hasta 7.2 en la escala de Richter; dichos sismos son atribuidos a las fallas locales de Puengasí y Machachi que se presentan en la figura 1.a. Diversos estudios han permitido predecir los peores eventos sísmicos que podrían generar dichas fallas, teniendo como resultado sismos de magnitudes 6.8 y 7.1 para la falla de Puengasí y otros de magnitud 6.4 para la falla de Machachi (Aguiar, Quizanga, & Chicaiza, 2017).

### ***Exposición sísmica***

Define los diferentes niveles de exposición característico de un determinado sitio frente a un sismo. Esta exposición representa el nivel de aceleración horizontal a nivel de la roca para un periodo definido para un tiempo determinado y posteriormente evaluar la respuesta dinámica del subsuelo que sobre yace a la roca y de esta manera luego estimar la demanda sísmica que se espera en la superficie (MIDUVI, 2014).

### ***Vulnerabilidad estructural***

Esto corresponde a la predisposición de los diferentes elementos estructurales y no estructurales a sufrir daños ante un movimiento sísmico, en Ecuador existe una gran cantidad de elementos que fueron construidos fuera del marco legal por falta de supervisión, el caso más común son las mamposterías, consideradas como de alta vulnerabilidad ante un evento sísmico (Barona, 2010).

La vulnerabilidad de una estructura puede clasificarse en 3, vulnerabilidad funcional: en la cual se verifica la capacidad de una estructura de permanecer funcional ante un elemento sísmico, vulnerabilidad no estructural: es aquella que evalúa el grado de daño que llegase a afectar los diferentes elementos no estructurales presentes en la estructura, y finalmente la vulnerabilidad estructural: correspondiente al nivel de daño que soportan los elementos

estructurales. Cabe destacar que existen diversas metodologías que clasifican la vulnerabilidad de manera cualitativa como cuantitativa (Lara & Martínez, 2020).

## **Dinámica de estructuras**

### ***Excitaciones***

Se refiere a todo fenómeno que puede ocurrir en la respuesta de un sistema dinámico modificando las condiciones iniciales del mismo, se pueden presentar como pulsos, vibraciones forzadas, vibraciones sinusoidales, vibraciones ambientales o sismos, acorde con (Amaguaña Amagua & Yumba Agualongo, 2016) señalando que: “un sistema puede ser perturbado por dos tipos de excitación dinámica: una carga lateral  $p(t)$  o por un movimiento del terreno inducido por un sismo”.

### ***Vibración ambiental***

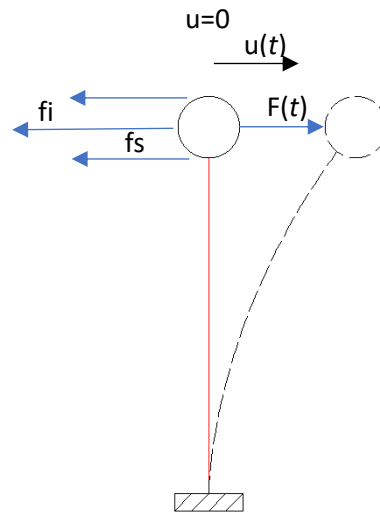
Con lo mencionado y conforme con lo que señalan (Arcentales & Yépez, 2020), la vibración ambiental es una excitación de baja amplitud producto de la interacción del sistema con su entorno (microsismos, tráfico o viento), consideradas vibraciones forzadas. Este tipo de vibración generan pequeños niveles de movimiento que pueden ser registrados y generar una base de datos robusta que caracteriza las características dinámicas del edificio

### ***Ecuación del movimiento***

Se toma como referencia un sistema formado por un grado de libertad GDL, con ello se observa que en base a una fuerza externa  $F(t)$ , se generan fuerzas internas opuestas. La fuerza producida por el amortiguamiento, la fuerza inercial y la fuerza restauradora inelástica o elástica se oponen a la Fuerza externa, a la deformación del sistema. Mediante el equilibrio dinámico y la segunda ley de Newton se logra conseguir la ecuación del movimiento (Chopra, 2014).

## **Figura 2**

*Equilibrio dinámico en un sistema de 1 gdl*



A partir de la ecuación de movimiento (1) se puede definir las propiedades de un sistema teniendo así:

$$m * \ddot{u} + c * \dot{u} + k * u = f(t) \quad (1)$$

Siendo:

$f(t)$ : vector de fuerzas aplicado.

$m$ : matriz de masas.

$\ddot{u}$ : vector de aceleración.

$c$ : matriz de amortiguamiento.

$\dot{u}$ : vector de velocidad.

$k$ : matriz de rigidez.

$u$ : vector de desplazamientos.

Considerando un sistema de un grado de libertad, se trabaja con su desplazamiento, en este caso el de la figura 2, sustituyendo la fuerza externa por una excitación sinusoidal sin amortiguamiento, se pueden identificar los componentes que caracterizan el movimiento vibratorio como el Periodo, amplitud, desplazamiento, frecuencia y frecuencia natural; la

frecuencia está ligado al movimiento de una fuerza externa mientras que la frecuencia natural es propio de la estructura sin depender de la excitación a la que se exponga el sistema.

### ***Respuestas dinámicas***

Partiendo de la ecuación característica del movimiento ligada a una estructura (masa, rigidez y amortiguamiento), sus componentes características del movimiento y con la ayuda de métodos de resolución dinámicos y métodos numéricos como la integral de Duhamel, transformada de Laplace y Fourier se pueden obtener el comportamiento dinámico de un sistema producto de una excitación, estas respuestas se enfocan principalmente en las aceleraciones, desplazamientos y velocidades consideradas en el dominio del tiempo.

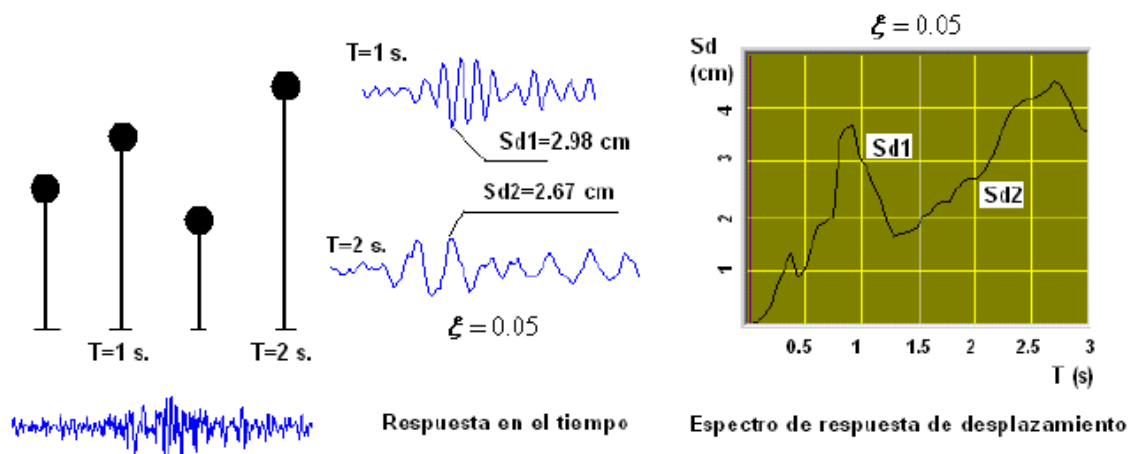
### ***Espectro de respuesta***

De acuerdo con (Aguilar, 2012), se define el espectro de respuesta como: “El conjunto de respuestas máximas para diferentes osciladores de 1gdl con el mismo amortiguamiento correspondiente a una serie de aceleraciones dadas”, de manera que es posible la obtención de espectros para cada una de las respuestas dinámicas de los cuales se pueden obtener las máximas respuestas ante un registro de aceleraciones.

Este gráfico presenta la curva espectral de respuesta donde las ordenadas presentan los máximos desplazamientos, velocidades y aceleraciones para un determinado periodo o frecuencia natural correspondiente a la abscisa del espectro, presentándose de esta manera una herramienta útil para verificar la respuesta dinámica máxima posible para una excitación específica, conociendo la frecuencia natural de un sistema. La figura 3 presenta un esquema de cálculo para espectro de respuesta.

### **Figura 3**

*Esquema para la determinación de espectros de respuesta.*



Sismo del 9 de Nov. de 1974

Nota: Tomado de *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*, por (Aguiar, 2012).

### **Espectro de diseño**

Este espectro busca ser una herramienta para la evaluación, diseño y aplicaciones para diferentes análisis en estructuras existentes, de manera que deberá cumplir una serie de requerimientos con el fin de que las estructuras puedan hacer frente a sismos futuros. Sin embargo, un único registro es insuficiente para cubrir con estos requisitos sumado a la incertidumbre del comportamiento del sismo, interactuando con los diferentes efectos de sitio para un lugar específico para una determinada edificación (Paz & Hoon Kim, 2019).

Es así que para obtener un espectro de diseño se requiere un conjunto de curvas suavizadas o líneas rectas para diferentes niveles de amortiguamiento a partir de bases de datos características que representen formas espectrales afines a los movimientos que se esperan en el terreno, caso contrario se tiende a obtener datos de movimientos registrados en otras ubicaciones que presenten condiciones similares o se suele acrecentar registros de pequeñas aceleraciones, pero como menciona (Aguiar, 2012):

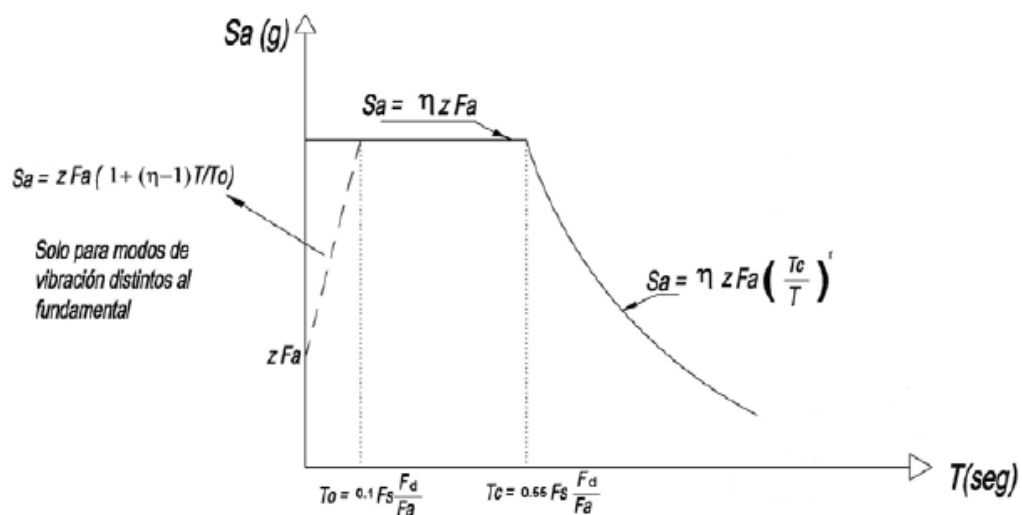
Es deseable que los registros sísmicos con los cuales se vayan a obtener los espectros de diseño tengan una aceleración máxima de suelo considerable, por lo menos que sean mayores al 10% de la aceleración de la gravedad. En la mayor parte de países de



Latinoamérica no se cuenta con una cantidad suficiente de eventos fuertes por lo que han trabajado con sismos de aceleraciones pequeñas normalizados a aceleraciones grandes, este procedimiento no es correcto, pero ante la ausencia de registros fuertes no queda otra opción.

**Figura 4**

*Espectro de diseño elástico*



*Nota:* Tomado de NEC-SE-DS, por (MIDUVI, 2014).

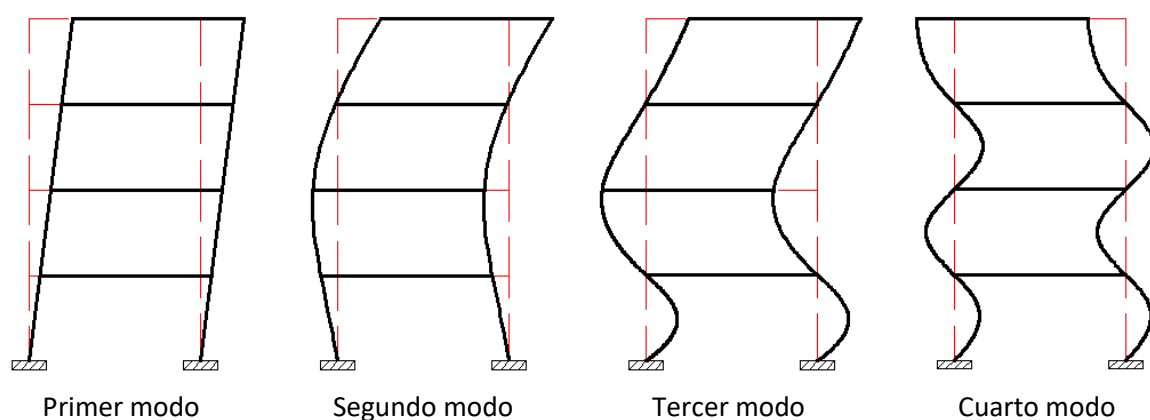
### **Modo de vibración**

Los modos de vibración representan el resultado de un problema modal de un determinado sistema de vibración libre de varios grados de libertad, esta solución conduce a la obtención de los vectores y valores propios del sistema que representan los modos de vibración (Montserrat, 2013). Desde un punto de vista sísmico para una edificación, son la representación de la vibración natural de la estructura. De manera que es un medio que nos permite conocer si la respuesta de la edificación será la adecuada ante un evento sísmico (Amaguaña Amagua & Yumba Agualongo, 2016).

El comportamiento de una edificación depende de sus diferentes modos y del aporte de cada uno de ellos a la vibración característica de la estructura, todos ellos se encuentran ligados a un determinado periodo, de manera que existe un modo fundamental ligado al periodo fundamental, mismo que pertenece al primer modo de un sistema y, junto al segundo modo, representan la mayor influencia en la estructura con respecto a la frecuencia del sismo. Finalmente es necesario señalar que “El número de modos de vibrar que posee una estructura corresponde al mismo número de grados de libertad de ésta.” (Rios, 2006).

**Figura 5**

*Modos de vibración de pórticos planos*



*Nota:* Modos característicos generales para una edificación regular.

### **Análisis no lineal**

Estos análisis se hallan caracterizados por el comportamiento tenso-deformacional de los materiales, la no linealidad geométrica y descarta el principio de superposición (Maldonado, 2012).

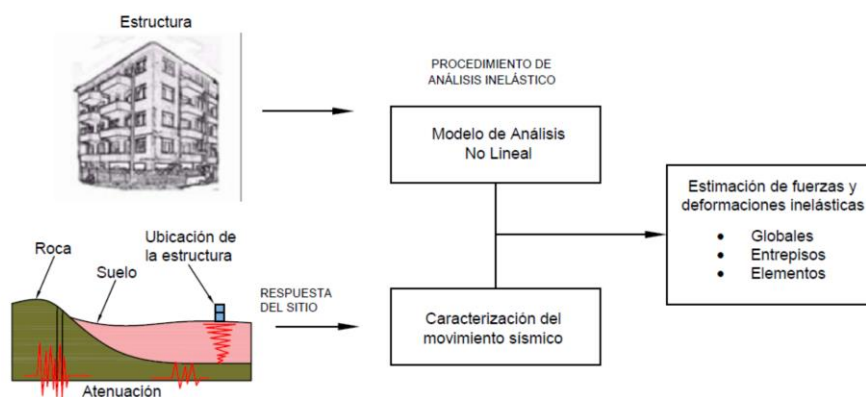
De manera que se necesite modelar una estructura para realizar un análisis no lineal no es suficiente con considerar la geometría y rigidez de los elementos estructurales. Es necesario

añadir parámetros considerando capacidad de deformación, resistencia y estabilidad ante cargas cíclicas (MIDUVI & SNGR, 2016).

Un análisis no lineal calculará parámetros como: desplazamientos, fuerzas de los elementos, distorsiones y deriva de los pisos; los mismos que servirán para determinar el desempeño de la estructura. Como se puede observar en la figura 6 se realiza un esquema acerca del procedimiento utilizado para determinar fuerzas y desplazamientos inelásticos mediante un análisis no lineal.

**Figura 6**

*Esquema utilización de análisis no lineales*



*Nota: Tomado de Evaluación sísmica basada en desempeño según FEMA P-58 del Hospital General Docente Ambato, (p. 43), por (Untuña, 2021).*

### **Análisis Estático No Lineal – Pushover**

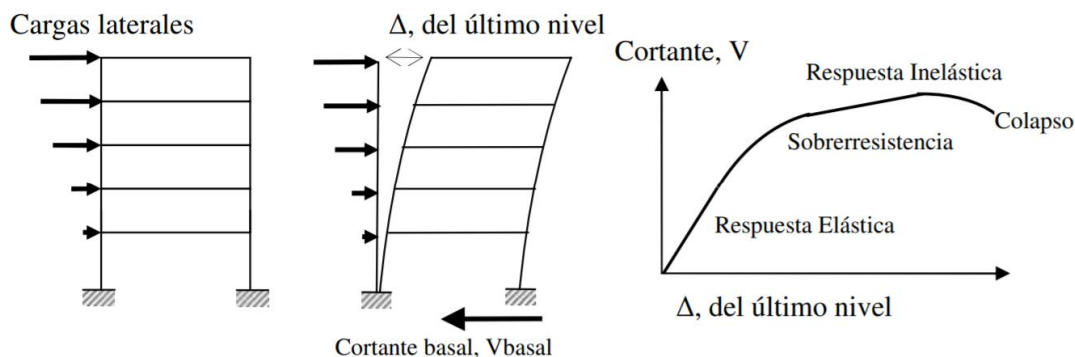
El análisis no lineal estático (Pushover), es el procedimiento en el cual se usa un espectro sísmico de diseño sumado a una modelación matemática de la estructura, mediante el cual se puede predecir y determinar la demanda sísmica como las fuerzas en los elementos, la formación de rótulas plásticas y derivas máximas con un buen grado de aproximación (Untuña, 2021).

En el método tradicional de Pushover, se aplica una carga lateral creciente a un modelo estructural, y se analiza de forma no lineal y estática de manera que se llegue a un desplazamiento objetivo, o bien, la estructura colapse. El método tradicional de Pushover es un método de análisis aproximado ya que, en el enfoque, se aplica generalmente un patrón de carga lateral invariable a la estructura. Sin embargo, es evidente que la distribución de las fuerzas de inercia cambia con la gravedad del sismo y la duración del mismo (Ahmadi, Mahdavi, & Bayat, 2020).

En la figura 7 se representa mediante un esquema las distintas etapas del análisis estático no lineal para un pórtico. El resultado final de este análisis es la curva de capacidad de la edificación frente al efecto del sismo, dicha curva grafica la relación entre los desplazamientos laterales en el piso más alto y el cortante en la base.

**Figura 7**

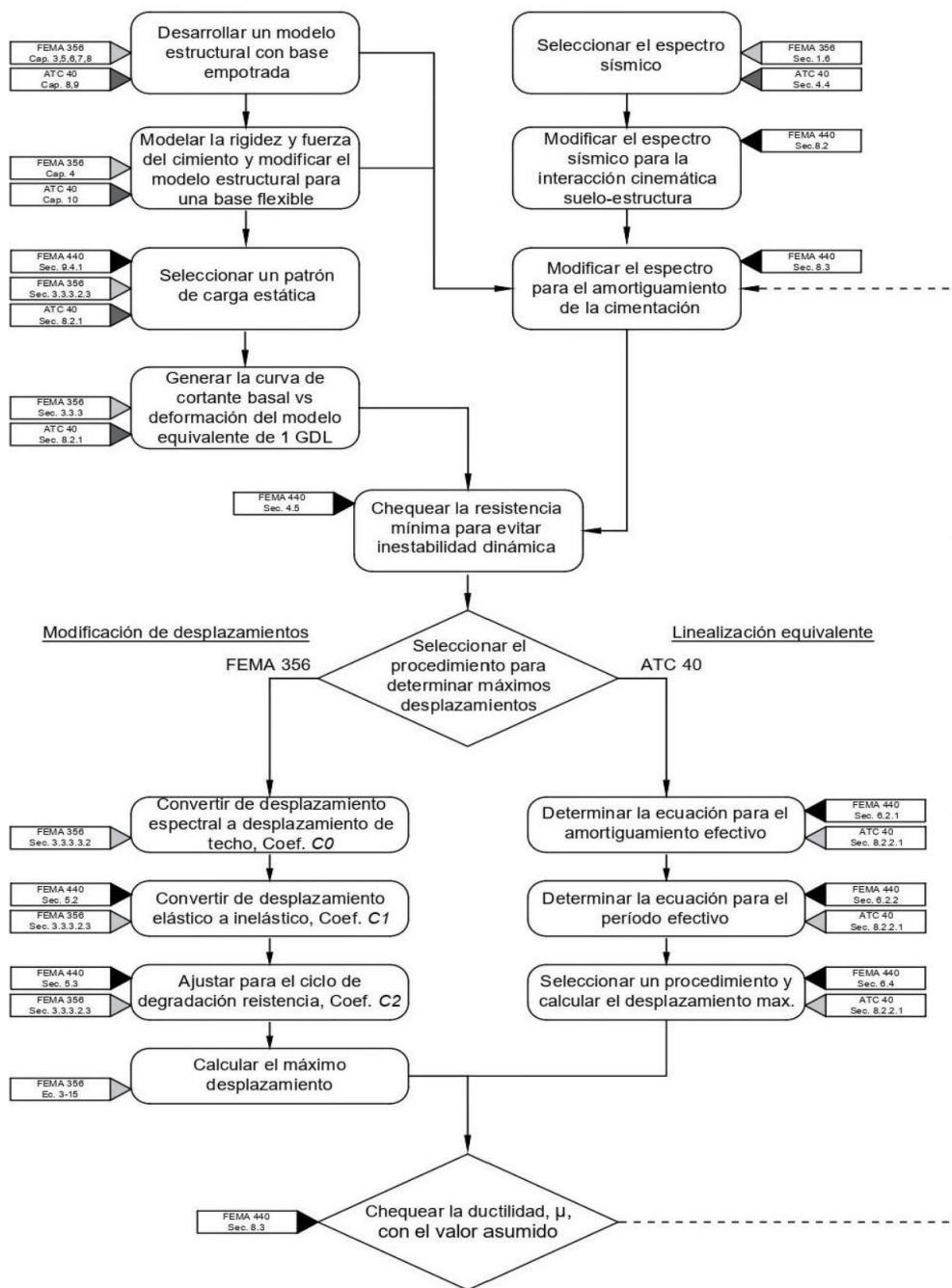
*Secuencia del proceso de análisis Pushover*



*Nota: Tomado de Propuesta Metodológica Para La Evaluación Del Desempeño Estructural De Una Estantería Metálica, (p. 143), (Arango, Paz, & Duque, 2009)*

**Figura 8**

*Diagrama de flujo para la realización de un análisis no lineal estático*



*Nota:* Tomado de *Evaluación sísmica basada en desempeño según FEMA P-58 del Hospital General Docente Ambato*, (p. 46), por (Untuña, 2021).

De acuerdo con (Ahmadi, Mahdavi, & Bayat, 2020):

Existen dos enfoques diferentes de análisis Pushover:

- Carga aplicada con incremento uniforme

- Carga aplicada actualizada basada en las características dinámicas instantáneas de la estructura.

En la primera categoría de métodos de análisis Pushover, el patrón de carga lateral es uniforme. La forma de la distribución de la carga lateral suele ser en forma de triángulo invertido, uniforme y de primer modo.

La segunda categoría de métodos de análisis Pushover, como el método Pushover adaptativo del primero modo y los modos completos adaptativos, son aquellos en los que la carga lateral se actualiza de forma persistente basándose en las características dinámicas instantáneas de la estructura.

### ***Patrones de carga***

De manera que se lleve al colapso una estructura se debe aplicar cargas de forma incremental, por lo tanto, de una manera apropiada es necesario asumir un patrón de cargas laterales para lograrlo. Dicho esquema es aplicado de modo que incremente las cargas de manera gradual, hasta conseguir el desplazamiento objetivo. La curva de capacidad variará dependiendo del patrón de carga seleccionado. El patrón de carga debe ser el adecuado de manera que no se sobreestime o subestime la capacidad del modelo planteado, logrando así resultados más realistas (Sun, Tetsuro, Zhao, & Wang, 2003).

### ***Rótulas plásticas***

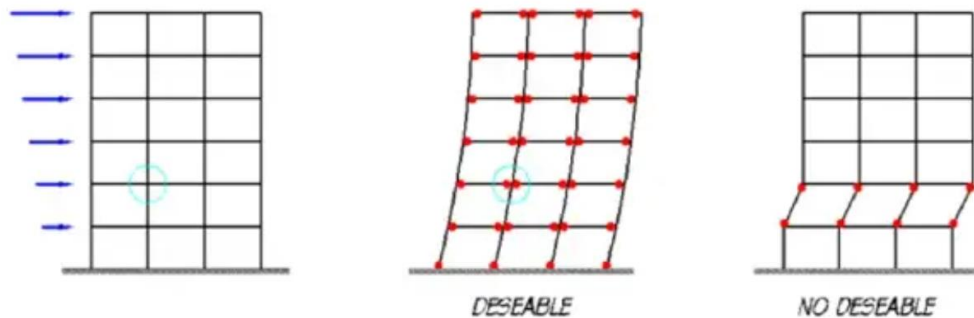
Una rótula plástica representa la entrada de un elemento estructural a una fase de plasticidad alcanzada por sus fibras, bajo la acción de una carga, se pueden definir como mecanismos de disipación de energía localizados en puntos específicos de los elementos, logrando así un mejor comportamiento global de la estructura (García, 2018).

Se debe tener en cuenta que si se diseñó correctamente la estructura, lo ideal es que se respete un principio de columna fuerte – viga débil, por lo que la rótula aparecería en primer

lugar en vigas. En caso que las rótulas se presenten primero en columnas se puede dar la aparición de mecanismos de colapso poco dúctiles como es el piso débil (Untuña, 2021).

**Figura 9**

*Mecanismo de colapso deseado y no deseado*



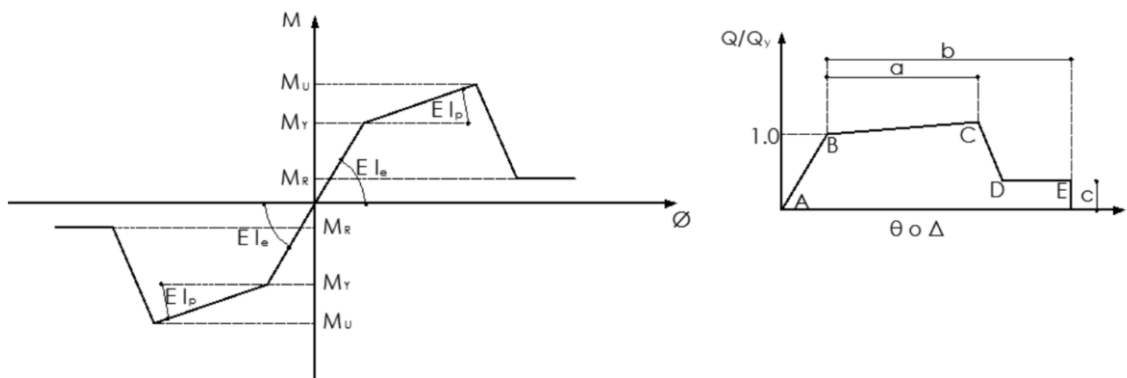
*Nota: Tomado de Relación columna fuerte viga débil, (p. 3), por (López A. , 2022)*

### **Diagrama momento – curvatura y momento – rotación**

Los diagramas momento-curvatura y momento-rotación otorgan información del elemento mientras se encuentra cargado, la redistribución de momentos, el desarrollo de rótulas plásticas y la ductilidad de la sección. Los diagramas mencionados son calculados a partir de la geometría de la sección, conjuntamente con las leyes constitutivas del elemento, sin dejar afuera a las características de los materiales que lo conforman (García, 2018).

**Figura 10**

*Relación momento curvatura y momento rotación*



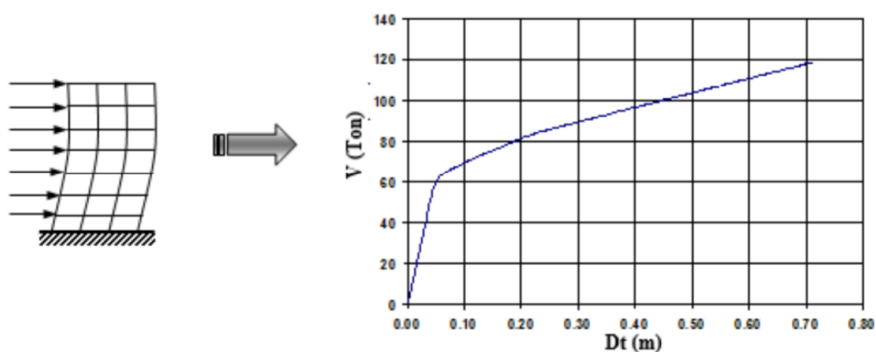
*Nota:* Tomado de *Pushover multimodal en estructuras con disipadores de energía adas o tadas*, (p. 170), por (Mora & Aguiar, 2015)

### **Curva de capacidad**

La curva de capacidad relaciona el desplazamiento y la carga lateral aplicada que lo produce, relación obtenida gracias a un análisis no lineal estático. Una vez obtenida la curva de capacidad de la estructura es posible calcular el espectro de capacidad convirtiendo la fuerza en aceleración, posteriormente es posible comparar coordenadas espectrales con la demanda (García, 2018).

**Figura 11**

*Esquema de una curva de capacidad*



*Nota:* Tomado de *Pushover multimodal en estructuras con disipadores de energía adas o tadas*, (p. 162), por (Mora & Aguiar, 2015)

### **Análisis Estático**

El análisis estático consiste en que todas las cargas aplicadas a la estructura permanezcan constantes y con ello determinar todos los desplazamientos, deformaciones, tensiones y fuerzas de reacción (Dassault Systèmes, 2017) .



### ***Pushover adaptativo***

En este método, el vector de carga se cambia en cada paso del análisis de acuerdo con la característica dinámica actual de la estructura. La distribución de la carga lateral no se considera constante y se promueve continuamente en base a las formas de los modos y los factores de participación. El método consta de dos tipos que son los siguientes: basado en la fuerza (FAP) y basado en el desplazamiento (DPA) (Ahmadi, Mahdavi, & Bayat, 2020).

El método basado en el desplazamiento (DPA) se fundamenta en la dinámica de estructuras, en la que se calcula la curva de capacidad de la estructura ante algunos modos de vibración natural, transformando cada uno en un patrón de carga lateral a partir de desplazamiento y aplicarlos en cada paso del análisis (Aguilar & Ormeño, 2020).

### **Análisis de Desempeño**

#### ***Objetivos de desplazamiento***

De acuerdo a la norma (ASCE/SEI , 2017), en el caso de edificios con diafragmas rígidos en cada nivel de piso, el desplazamiento objetivo,  $\delta_t$ , debe ser calculado a partir de la ecuación (2):

$$\delta_t = C_o C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2)$$

Donde:

$\delta_t$ : objetivo de desplazamiento amplificación.

$S_a$ : Aceleración del espectro de respuesta para el periodo y amortiguación de la estructura.

$g$ : Aceleración de la gravedad.

$T_e$ : Periodo fundamental efectivo (s). Calculado con la ecuación (3).

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3)$$

Donde:

$T_i$ : Periodo fundamental elástico (s).

$K_i$ : Rigidez lateral elástica, calculado de la curva bilineal que presente la curva de capacidad.

$K_e$ : Rigidez lateral efectiva, calculado en la curva bilineal post-fluencia.

$C_o$ : Factor de modificación que se obtiene bajo la relación del desplazamiento de un sistema de un grado de libertad con el de un sistema de múltiples grados de libertad en su techo, esta relación se calcula:

- Multiplicando la ordenada del primer modo por el factor de participación de masa del mismo.
- A partir de un vector relacionado a la deformada de la edificación, con base al desplazamiento objetivo que mide su porcentaje de participación de masa, se multiplica para el vector de forma en su ordenada con respecto al nodo de control
- O seleccionando el valor correcto a partir de la tabla 1

**Tabla 1**

*Valores para el factor de modificación "c\_o" propuesto por el ASCE 41-17*

N° de pisos	Shear Build		Other Build
	Carga Triangular	Carga Uniforme	
1	1,00	1,00	1,00
2	1,20	1,15	1,20
3	1,20	1,20	1,30
5	1,30	1,20	1,40
10+	1,30	1,20	1,50

*Nota:* Recuperado de *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (ASCE/SEI , 2017).

$C_1$ : Factor modificador que asocia desplazamientos obtenidos para una respuesta elástica lineal con los máximos desplazamientos inelásticos que se esperan, teniendo así:

$$C_1 = 1 + \frac{\mu_{strength} - 1}{\alpha T_e^2} \quad (4)$$

- Para periodos inferiores a 0,2 s, no es necesario tomar  $C_1$  como mayor que el valor en  $T=0,2s$ .
- Para periodos superiores a 1,0 s,  $C_1 = 1.0$ .

Donde:

$\alpha$ : Factor de clase, 130 para sitios de clase A o B, 90 para sitios clase C y 60 para sitio clase D, E o F.

$$\mu_{strength} = \frac{S_a}{V_y/W} * C_m \quad (5)$$

$V_y$ : Cortante de cedencia ubicado en la curva bilineal que represente la curva de capacidad.

$C_m$ : Factor de masa efectiva, ver en la tabla 2

$W$ : Peso sísmico efectivo.

## Tabla 2

*Valores propuestos por el ASCE 41-17 para el factor de masa efectiva "c\_m"*

N° de pisos	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall
1-2	1,0	1,0
3 o más	0,9	0,8

*Nota:* Recuperado de *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (ASCE/SEI , 2017).

$C_2$ : Factor de modificación a través del cual se puede interpretar la degradación cíclica de la rigidez, el efecto de la forma de perezoso de la histéresis, y el deterioro de la resistencia en el desplazamiento máximo de la respuesta calculada por:

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{\mu_{strength} - 1}{T_e} \right)^2 \quad (6)$$

### **Niveles de desempeño**

Los niveles de desempeño o llamados también puntos de desempeño objetivos son características de resistencia que las estructuras deben cumplir, para proporcionar un comportamiento detallado a nivel de ocupación inmediata, nivel de prevención de colapso, nivel operacional, nivel de seguridad de vida y (ASCE/SEI , 2017).

De acuerdo a la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2014), se deberá verificar las estructuras presentes para los siguientes 4 niveles de desempeño:

- Nivel operacional (1-A): No existe deriva permanente. No presenta pérdida de rigidez y resistencia. Se distingue menores agrietamientos en elementos estructurales, paredes divisorias, fachadas, y cielos rasos. Todas las redes de operación importantes se mantienen en funcionamiento.
- Ocupación inmediata (1-B): Se presenta daño ligero. Existe resistencia y rigidez lateral retenida sustancialmente. Presenta fisuras menores en fachadas, particiones y cielo raso; así como, en aquellos elementos de función estructural. Elevadores pueden reiniciar. Los sistemas contra incendios aún siguen operables.

- Seguridad de vida (3-C): Presenta un daño global moderado, con un porcentaje de rigidez residual y resistencia quedada en todos los pisos. Algo de deriva permanente. Elementos estructurales todavía en funcionamiento y soportando carga. Se presenta fallas en los muros dentro de su plano. Daño en paredes divisorias. Económicamente la estructura se mantiene reparable. Permite un considerable comportamiento inelástico.
- Prevención al colapso (5-E): Presenta un serio daño global, con muy poca rigidez residual y resistencia, pero con elementos estructurales como muros y columnas trabajando. Considerables derivas permanentes. Obstrucción de las salidas de la edificación. En el caso de que la estructura se desplace lateralmente más de este punto la estructura se volverá inestable y podría colapsar. Se alcanza la capacidad límite de la ductilidad de los elementos.

### ***Niveles de amenaza sísmica***

La posición de la estructura respecto a las fallas geológicas de la región forma parte de la amenaza sísmica. Las propiedades geológicas regionales y locales, longitud hacia la fuente, trayectoria de la difusión de la ruptura de la falla, y sobre todo la magnitud del sismo influyen en el efecto, donde dichas amenazas causan una variación en el comportamiento normal de la estructura (Untuña, 2021).

Con el propósito de evaluación y rehabilitación sísmico, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2014), determina 4 niveles de amenaza sísmica, correspondientes a las siguientes probabilidades de excedencia 50%, 20%, 10% y 2% para 50 años, como se expone en la siguiente tabla:

### **Tabla 3**

#### *Niveles de amenaza sísmica*

Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno Tr (años)	Tasa de excedencia (1/Tr)
2%	2500	0,00040
10%	475	0,00211
20%	225	0,0044
50%	72	0,01389

Nota: Niveles de amenaza sísmica propuestos por la NEC-15. Tomado de (MIDUVI, 2014).

La norma de Rehabilitación Sísmica de Estructuras NEC-SE-RE, establece que, para el estudio de las estructuras de ocupación especial detalladas anteriormente se deberá realizar un análisis de revisión del desempeño sísmico. Este se realizará mediante un análisis no lineal.

Para esto se confirmará que se cumpla los siguientes objetivos de desempeño:

- Seguridad de vida frente a una amenaza sísmica con Tr = 475 años.
- Prevención de colapso frente a una amenaza sísmica con Tr = 2500 años.

### **Objetivos de desempeño**

Un objetivo de desempeño se relaciona con un comportamiento sísmico aceptable para una edificación expuesta a la acción de sismos de distintas magnitudes. Al seleccionar distintos niveles de desempeño para cada nivel de movimiento especificado se puede crear varios objetivos de desempeño. La relevancia de las actividades que se desarrollarán en la estructura, así como las condiciones de ocupación del edificio, serán la base para la selección de éstos (Untuña, 2021).

El escrito de Rehabilitación Sísmica de Estructuras de la NEC-SE-RE (MIDUVI, 2014) sugiere los objetivos de desempeño establecidos en la FEMA 356, los cuales en primera instancia están dirigidos a las estructuras ya presentes en el lugar y para el caso de diseñar nuevas estructuras se tiene que extrapolar a partir de estos.

En la tabla 4 se presentan los distintos objetivos de desempeño:

**Tabla 4**

*Objetivos de desempeño estructural*

		Niveles de Desempeño Esperados en el Edificio			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)
NIVEL DE TERREMOTO	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

1.- Cada celda en esta matriz representa un Objetivo de Rehabilitación discreto

2.- Los objetivos de rehabilitación de esta tabla pueden ser usados para representar los siguientes 3 objetivos de rehabilitación:

Objetivo Básico de Seguridad	<b>k y p</b>
Objetivos Avanzados	<b>k y m, n, or o</b> <b>p e i ó j</b> <b>k y p y a, b, e, ó f</b> <b>m, n, u o sólo</b>
Objetivos Limitados	<b>k sólo</b> <b>p sólo</b> <b>c, d, g, h, o l sólo</b>

*Nota:* Objetivos de desempeño estructural Tomado de *NEC-SE-RE* (MIDUVI, 2014).

Para el caso de estudio, se estableció que las edificaciones serán rehabilitadas para el objetivo básico de seguridad (k y p).

***Criterios de aceptación***

La aprobación de las acciones de fuerza y deformación debe evaluarse para cada componente. Antes de elegir los criterios de aceptación, los componentes deben asignarse como primario o secundario y a su vez cada acción debe clasificarse como controlada por deformación (dúctil) o controlada por fuerza (no dúctil) (ASCE/SEI, 2017).

Para cumplir con un Objetivo de Desempeño elegido, la edificación debe estar compuesta de al menos una ruta de carga continua para transmitir fuerzas sísmicas, ocasionadas por el desplazamiento del suelo en alguna dirección, desde la posición de aplicación de la fuerza hasta la posición final de resistencia. Los componentes primarios y secundarios, en su totalidad, deben ser capaces de resistir la fuerza y las acciones de deformación dentro de los criterios de aceptación aplicables del Nivel de Desempeño elegido (ASCE/SEI , 2017).

**Componentes primarios y secundarios.** Todo aquel componente que afecte a la rigidez lateral o la repartición de fuerzas en una edificación, o que sean cargados como producto de la deformación lateral en la estructura, se podrá clasificar como primario o secundario, sin embargo, para diferenciar entre primario y secundario y lograr clasificarlos, se detalla a continuación los conceptos (ASCE/SEI , 2017).

Un componente primario es aquel que presenta un aporte para soportar las fuerzas sísmicas y ayuda a adecuar las deformaciones laterales para que la edificación llegue al Nivel de Desempeño elegido.

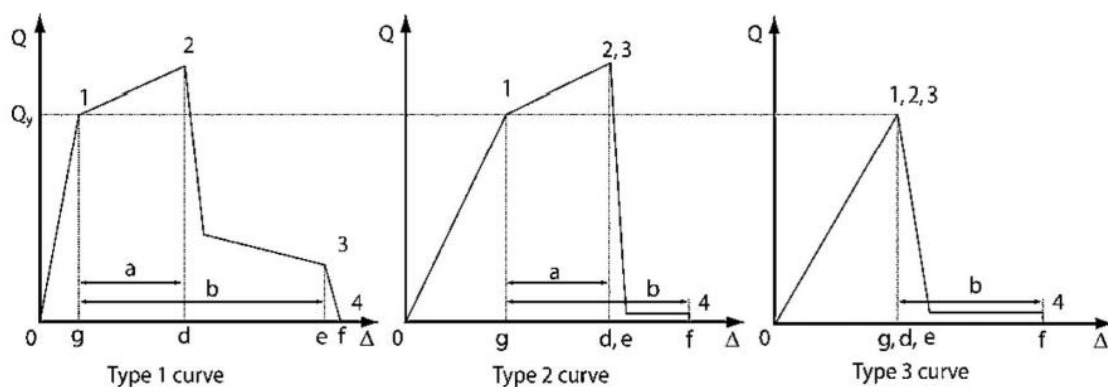
Un componente secundario es aquel que adopta las deformaciones sísmicas, pero no resiste las fuerzas sísmicas para que la edificación alcance el Nivel de desempeño elegido.

**Acciones controladas por deformación y fuerzas.** Las acciones se clasificarán como controladas por deformación o fuerza haciendo uso de las curvas de componentes Fuerza Vs Deformación, como se indica en la figura 12.

### **Figura 12**

*Curvas de componentes fuerzas vs deformación*





Nota: Tomada de *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (ASCE/SEI , 2017).

- Curva tipo 1: Curva característica del comportamiento dúctil en la cual se tiene un rango elástico (punto 0 a 1) y otro plástico (punto 1 a 3), seguido por la pérdida sustancial de capacidad de resistencia de fuerzas sísmicas (punto 3) y pérdida a la capacidad de soportar cargas por gravedad (punto 4).
- Curva tipo 2: Curva característica del comportamiento dúctil en la cual se tiene un rango elástico (punto 0 a 1) y otro plástico (punto 1 a 3), seguido por la pérdida sustancial de la capacidad de soportar fuerzas sísmicas (punto 3). La pérdida de capacidad de resistencia a la carga por gravedad tiene lugar a la deformación relacionada con el punto 4.
- Curva tipo 3: Curva representativa de un comportamiento no dúctil o frágil en la cual existe un rango elástico (punto 0 a 1) seguido de la pérdida de capacidad de resistencia a fuerzas sísmicas (punto 3). La pérdida de capacidad de resistencia a la carga por gravedad tiene lugar a la deformación relacionada con el punto 4.

**Resistencia esperada Vs Resistencia mínima.** En la figura 1,  $Q_y$  representa el límite elástico del componente. Para acciones controladas por deformación,  $Q_y$  se determina mediante la resistencia esperada  $Q_{CE}$ .  $Q_{CE}$  es determinado como el promedio de la resistencia

de un componente en el nivel de deformación previsto para un grupo de componentes semejantes. Mientras que, para acciones controladas por fuerza, se debe implementar una estimación de la resistencia de los componentes llamados  $Q_{CL}$ .  $Q_{CL}$  se determina como la media menos una desviación estándar de los límites elásticos para un grupo de componentes semejantes.

**Nivel de conocimiento y factor de conocimiento k.** El factor de conocimiento se utiliza para expresar la confianza con que se conocen las propiedades de los componentes del edificio, al calcular las capacidades de los componentes. Como ejemplo se presenta:

- Qué bien conocemos la geometría de la estructura.
- Qué tan bien conocemos el refuerzo de los miembros, tanto longitudinal como el transversal.
- Qué bien conocemos la resistencia del hormigón.
- Si existe una variación considerable en la resistencia del hormigón entre los elementos.
- Qué bien conocemos la resistencia del acero.
- Qué bien conocemos el sistema de cimentación del edificio.

**Comprobaciones de capacidad para análisis lineal.** Para las comprobaciones en análisis lineal se considera los siguientes aspectos:

- La resistencia presentada sea mayor a la demanda.
- Con referencia a la demanda de los componentes, en las acciones controladas por deformación,  $Q_{UD}$  se calcularán a partir del análisis lineal. Mientras que, para acciones controladas por fuerza,  $Q_{UF}$  se calcularán a partir de las consideraciones de diseño por capacidad.

- Las acciones que se controlan por la deformación, basado en la resistencia esperadas  $Q_{CE}$  o  $k Q_{CE}$ . Así mismo, se presenta que, para las acciones que se controlan por la fuerza, la capacidad se basa en la resistencia mínima,  $Q_{CL}$  o  $k Q_{CL}$ .
- Los factores  $m$  tienen en cuenta la inelasticidad en los miembros, son generalmente mayores que 1,0 y aumentan la capacidad del miembro. (Análogos al factor  $R$ ).

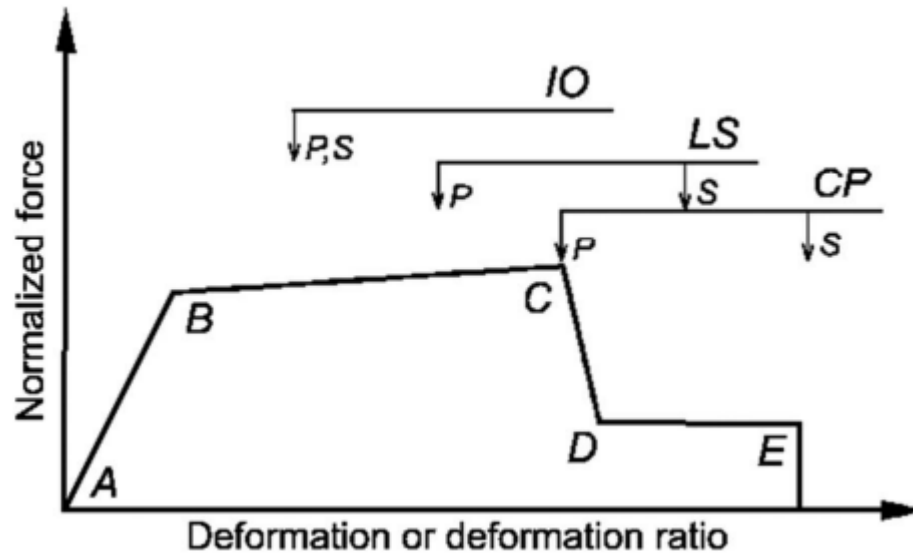
**Comprobaciones de capacidad para análisis no lineal.** La diferencia con las comprobaciones para análisis lineal radica en que para las acciones controladas por deformación se revisan en términos de desplazamiento y no se considera el factor  $m$  y al igual que el análisis lineal se considera algunos aspectos como:

- Para acciones que se controlan por deformación los límites aceptables de deformación inelástica determinan la capacidad. A su vez estos se determinan considerando todas las deformaciones y fuerzas coexistentes en el desplazamiento objetivo.
- Las deformaciones calculadas a partir del análisis no lineal forman parte de la demanda de los componentes.
- Para acciones controladas por fuerza, la resistencia mínima considerando todas las deformaciones y fuerzas coexistentes en el desplazamiento del objetivo forman la capacidad.
- La demanda son las fuerzas que se calculan mediante un análisis no lineal.

Los criterios de aprobación para acciones que se controlan por deformaciones empleadas en métodos no lineales serán las deformaciones adecuadas a los siguientes puntos de la figura 13.

### **Figura 13**

*Criterios de aceptación*



*Nota:* Ilustración de criterios de aceptación. Recuperado de (ASCE/SEI , 2017).

A continuación, se especifica cada uno de los criterios de aceptación presentados en la figura 13.

- Ocupación inmediata (IO): No superior a 0,67 veces el límite de deformación para seguridad de vida.
- Prevención de colapso (CP): 1,0 veces la deformación en el punto E en la curva.
- Seguridad de vida (LS): 0,75 veces la deformación en el punto E.

### ***Ensayos no destructivos***

Pruebas que involucran un daño nulo o imperceptible hacia la superficie ensayada, generalmente basados en fenómenos como emisión de partículas subatómicas, uso de ondas acústicas o electromagnéticas, absorción, capilaridad e inspecciones visuales. Estos estudios proveen datos con una menor exactitud en comparación con los ensayos destructivos por lo que generalmente sirven de complemento para corroborar otra fuente de información más confiable además de analizar defectos potencialmente críticos (Shackelford, 2005).

### ***Pachómetro***

Dispositivo que permite detectar metales, comúnmente usado en la evaluación de edificaciones existentes para corroborar el refuerzo existente en elementos de concreto conforme a lo presentado en los planos estructurales, localizando las varillas de refuerzo longitudinal o transversal y obteniendo información relevante para la evaluación estructural como lo es la separación entre barras y una estimación del recubrimiento y diámetro de las varillas de acero.

### ***Esclerómetro***

También conocido como martillo de rebote, es un elemento que se impulsa gracias a un resorte que, al accionarse, el martillo golpea un émbolo de acero que se encuentra en contacto con la superficie de hormigón. A su vez la energía elástica alcanza cierto nivel arrojando una masa cuya altura de rebote se mide en un rango de 0 a 100, mismo que permite obtener la resistencia a compresión simple de la superficie (MOP-DGOP, 2014).

### **Figura 14**

*Esclerómetro para hormigón ht-225, martillo Schmidt 10-60 MPa*



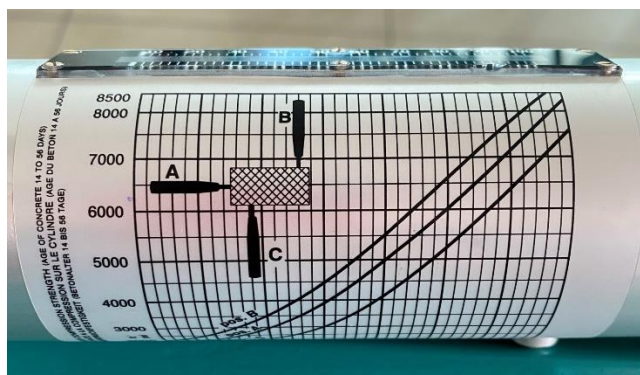
*Nota: Tomado de Martillo de prueba rebote mecánico HT-225, por Proceq SA, 2017.*

La superficie sobre la cual se realizará el ensayo debe emparejarse con una piedra abrasiva, evitando así superficies ásperas. Se deben evitar superficies de concreto estucadas o superficies que presenten escamaduras, alta porosidad y nidos de piedra. Para el empleo del martillo, este se deberá sujetar firmemente y de manera perpendicular a la superficie de ensayo, se debe tener en cuenta la posición del martillo para realizar las respectivas correcciones de

acuerdo a las correlaciones del fabricante (MOP-DGOP, 2014). El número recomendado de lecturas varía entre 20 a 10 dependiendo de la normativa a la que se haga referencia.

**Figura 15**

*Curva de conversión martillo Schmidt*



### ***Instrumentación de estructuras***

Para obtener las propiedades dinámicas de la estructura se realiza un proceso mediante el cual, con la ayuda de distintos aparatos, se puede registrar información relevante como fuerzas, desplazamientos, aceleraciones, etc. para la comprensión del comportamiento de una edificación frente a una eventualidad sísmica (Henao, 2013).

En el caso del presente estudio se obtendrán registros del comportamiento de la edificación ante el ruido ambiental mediante el uso de acelerómetros, sensores especializados para este espectro sísmico. La información obtenida será de suma importancia en la calibración de las características dinámicas de la edificación en el modelo computacional realizado en un software estructural, dotando de veracidad y confiabilidad a los resultados que se van a producir de los análisis que se realicen en el modelo estructural.

Se usan acelerómetros uniaxiales de alta sensibilidad y bajo ruido sísmico, con un rango de frecuencia de 0.06 a 450 Hz, conectados a un dispositivo que registra la respuesta de la estructura. Estos equipos amplifican las señales, y las frecuencias mayores a 30 Hz, se filtran

para eliminar ruidos de alta frecuencia dando como resultado un registro más claro. Este filtrado depende de las características de la estructura instrumentada (Arcentales & Yépez, 2020).

El ensayo de vibración ambiental se basa principalmente en utilizar excitaciones naturales con un gran ancho de banda, de manera que se exciten todos los períodos fundamentales de la estructura (Gómez, Maldonado, & Chio, 2010). Con el objetivo de asegurar la mayor calidad de señales obtenidas en campo, se debe realizar un análisis previo de señales generando registros de una duración entre 9 a 12 minutos. Posteriormente el archivo obtenido se pasa por un filtro de pasa-banda que se encarga de eliminar frecuencias fuera de un rango especificado y permite la transformación de las señales que se encuentran dominadas por el tiempo a señales dominadas por la frecuencia (Arcentales & Yépez, 2020). La creación de “ventanas”, proceso conocido como ventaneo permite truncar la señal en un determinado lapso de tiempo con el propósito de conseguir, en base a la señal, un espectro promedio, reduciendo así su amplitud y evitando problemas en posteriores herramientas como la transformada de Fourier que asume períodos completos y dadas las condiciones de temporalidad, ruido e imperfecciones la falta de este procedimiento puede repercutir en los resultados esperados (Ríos, 2016).

Tras un análisis matemático se calculan diversas herramientas de visualización de las señales de manera que se pueda encontrar frecuencias características, dichas herramientas son:

### ***Transformada de Fourier***

Esta herramienta da la facilidad de cambiar la señal, con todo su dominio, a una función integrable y con infinitas discontinuidades, a pesar de que el cálculo es posible realizarlo manualmente. En 1965 se desarrolló un algoritmo que simplifica el procedimiento de resolución dividiendo la transformada y agrupándola sucesivamente hasta obtener una respuesta

ordenada, este algoritmo se conoce como FFT por sus siglas en inglés o transformada rápida de Fourier (Ríos, 2016).

Al aplicar este método y llevarlo a un espectro es posible visualizar picos que describen las frecuencias dominantes de la señal, la interpretación de estos picos y frecuencias dominantes de la señal es la respuesta del sistema estructural ante la excitación presentada (Henaó, 2013).

**Espectros de potencia.** Esta herramienta permite la visualización de la potencia en las frecuencias pertenecientes a una señal, dicha señal en caso de ser aleatoria presenta una potencia finita y se puede definir una densidad espectral que a su vez permite suavizar el espectro de la señal (Ríos, 2016). Mientras que el espectro cruzado de potencia utiliza la conjugada de la transformada de Fourier de dos señales para comparar la fase de las mismas (Arcentales & Yépez, 2020).

**Función de transferencia.** Determina la relación entre dos señales y es de utilidad para conocer información acerca de la fase y la amplitud en relación de una señal base seleccionada por el usuario (Arcentales & Yépez, 2020).

**Fase de una señal y herramienta compas.** La herramienta compas es una herramienta gráfica que permite graficar la dirección o fase de un número imaginario desde un punto de origen 0 y representada como una flecha (Mathworks, 2022). Previamente se mencionó la utilización del algoritmo FFT, este da como resultado un número imaginario el cuál provee la información de la fase de la señal, y al utilizar la herramienta compas es posible verificar los parámetros de las distintas señales captadas durante la instrumentación (Arcentales & Yépez, 2020).

**Metodología “Peak Picking”.** Fue el primer método de selección de frecuencias fundamentales y es ampliamente utilizado en metodologías de instrumentación de estructuras, esta metodología hace interpretación que los picos normalizados de una FFT, de la estructura



analizada, pertenecen a la frecuencia natural de vibración. Adicionalmente, provee una interpretación adicional de la función de transferencia en la cual pasa de ser una relación entre señales a un desplazamiento relativo de una señal en relación a otra sirviendo como base, haciendo referencia a las señales obtenidas por medio de sensores, de esta manera se asume que este es un modo de vibrar de la estructura (Gómez, Maldonado, & Chio, 2010).

### **Recuperación Efectiva**

#### ***Resiliencia comunitaria***

Según (FEMA, 2021): "La capacidad de prepararse y adaptarse a condiciones cambiantes y de resistir y recuperarse rápidamente de las perturbaciones. La resiliencia incluye la capacidad de resistir y recuperarse de ataques deliberados, accidentes o amenazas o incidentes naturales".

La resiliencia comunitaria es un concepto que en la práctica requiere la aplicación de planificación, organización e inversión, de modo que se considera como un objetivo en el desarrollo de las comunidades que esté ligado a la economía y política, así como a los grupos implicados, que condicionan la resiliencia. Adicionalmente solo sabemos si una comunidad es resiliente cuando ocurren las amenazas o incidentes.

#### ***Reocupación***

Capacidad de volver a entrar en un edificio posteriormente a la evacuación ante un evento, también se incluye que las instalaciones puedan ser ocupadas mientras se realizan trabajos de reparación y limpieza. No todos los servicios del edificio son completamente funcionales, pero si aquellos requeridos para la ocupación legal y necesarios para la seguridad.

#### ***Recuperación funcional***

La recuperación funcional es un punto por sobre la reocupación, que supone que las actividades en la estructura se desarrollen de manera segura, incluye también el restablecimiento de los elementos estructurales al punto anterior al evento. Este concepto

incluye el restablecimiento de la seguridad funcional del edificio, la operatividad y funcionalidad, de este modo las actividades y servicios funcionan con normalidad, todo el sistema es funcional en este nivel.

### ***Rehabilitación estructural***

Es el conjunto de acciones y actividades necesarias después de un evento sísmico para llevar a una estructura que ha sufrido daños al punto de recuperación funcional, estas acciones requieren estar en función de un proceso de evaluación del estado y la implementación de los procesos administrativos y constructivos. Las alternativas implementadas en la rehabilitación estructural pueden ser diversas.

### ***Tiempo de Recuperación Efectiva***

El tiempo real en que un edificio alcanzará el objetivo de recuperación funcional. Este concepto es comúnmente considerado como un criterio de evaluación de la resiliencia comunitaria, especialmente en estructuras de importancia donde se llevan a cabo actividades de importancia relevante en el progreso de la comunidad como hospitales, escuelas, edificios administrativos, etc. Una comunidad que recupera el libre desempeño de sus actividades después de un evento sísmico en menor tiempo, presenta un buen nivel de resiliencia, como se destacó inicialmente la resiliencia está netamente ligada a la política. Es importante destacar todos los factores que están implicados en el tiempo de reparación de estructuras:

- Responsables de la reparación de la estructura, pueden ser entidades públicas o privadas. En instituciones públicas depende de todo el protocolo administrativo que se debe priorizar las estructuras según su importancia para las actividades en progreso, la organización y gestión que se lleve a cabo.
- Recursos financieros disponibles para la parte responsable de realizar las reparaciones, de igual forma si el sistema público es el encargado, organiza en

función de la gestión que se pueda realizar en base a los recursos disponibles o que se puedan adquirir.

En el caso de entidades privadas, se limita a los recursos de los propietarios, en ocasiones los planes de recuperación que emplean los gobiernos incluyen el apoyo para la reparación de estructuras privadas.

- Disponibilidad de profesionales y contratistas, para la evaluación de daños y cálculo y diseño para evaluar la condición del edificio y diseñar acciones de reparación. Así también profesionales para implementar los procesos constructivos de reparación.
- Si el edificio permanecerá o no en servicio durante las reparaciones, esto si la estructura está en capacidad de reocupación, lo que limita el trabajo de reparación a áreas desocupadas.

#### **FEMA P 58**

De acuerdo a la colección de documentos FEMA P-58, la metodología planteada: Seismic Performance Assessment of Buildings, Methodology, se fundamenta en la evaluación y diseño de estructuras basadas en el desempeño. Un primer beneficio que resulta de la implementación de este diseño y su filosofía, es el saber con una confiabilidad y certeza mayor, los riesgos y peligros que en un futuro enfrentará la estructura. Así mismo, a lo contrario de anteriores versiones de Diseño Sísmico Basado en Desempeño, se utiliza medidas de desempeño que resultan de fácil comprensión para los proyectistas responsables, lo que genera una amplia gama de elecciones, bajo mayor información, sobre lo que se busca de la vida útil de la estructura (FEMA, 2018).

- **FEMA P-58-1:** Primer volumen, presenta la metodología de desempeño sísmico generalizada para realizar evaluaciones y los procesos para obtener la información.

- **FEMA P-58-2:** El presente volumen, provee a partir del volumen 1, la guía de implementación metodológica e incorpora las instrucciones de entrada de datos para la preparación del programa “Performance Assessment Calculation Toll” (Untuña, 2021).
- **FEMA P-58-3:** El volumen 3 corresponde a la presentación y uso de la herramienta electrónica “PACT”.

### ***Herramienta PACT***

Según (Freire & Yáñez, 2016): “El programa PACT (Herramienta de Cálculo para la Evaluación del Rendimiento) es una herramienta de cálculo presentada junto al FEMA P-58, que sirve para evaluar el rendimiento sísmico”.

Esta herramienta toma la información recolectada en los volúmenes y determina el tiempo de recuperación, mediante cálculo de probabilidades y una base de datos extensa propuesta por el programador.

### ***Normativas aplicadas***

Para medir los estándares de vulnerabilidad, resiliencia y durante un evento sísmico su desempeño estructural se contempla el uso de diferentes metodologías nacionales e internacionales, verificando su nivel de aplicabilidad en las estructuras de ocupación especial a ser analizadas y las posibles recomendaciones y mejoras a considerar para aumentar la seguridad de la edificación.

### ***Metodología FEMA P-2090***

Este informe proporciona un conjunto de definiciones, recomendaciones y tareas para la mejora de la reocupación funcional, sumado a esto señala la necesidad del enfoque en reocupación y resiliencia comunitaria ante peligros sísmicos. Esta metodología de diseño y evaluación busca generar diferentes categorías de recuperación funcional para determinados

niveles de riesgo dependiendo del nivel de servicio el cuál se busca que opere la edificación además de las características del sistema estructural, sus funciones, ocupación e importancia para asegurar una mejor respuesta y mayor resiliencia comunitaria ante un desastre natural (FEMA, 2021).

### ***Normativa NEC-SE-RE***

Esta normativa está compuesta por 5 ejes fundamentales para el análisis de edificaciones entre los que (MIDUVI, 2014) señala:

- **Verificación del desempeño sísmico de estructuras:** enfocado en estructuras esenciales y de ocupación especial, comprobando el cumplimiento del código NEC-SE-DS previo a la construcción de una edificación.
- **Rehabilitación sísmica:** se evalúa y diseña sistemas que mejoren los entornos estructurales de sistemas existentes, apuntando el desempeño sísmico al cumplimiento de un objetivo.
- **Evaluación en edificios del riesgo sísmico:** con énfasis en las pérdidas materiales y decisiones en la compra o rehabilitación de estos insumos incluidos la determinación de primas de seguros en caso de terremotos.
- **Evaluación del riesgo sísmico a nivel nacional, regional y urbano:** como herramienta de estimación probabilística para una adecuada gestión del riesgo sísmico.
- **Inspección y evaluación rápida:** un paso básico para los estudios ya descritos.

### ***Normativa ASCE 41-17***

Esta normativa establece una metodología de evaluación basada en niveles de desempeño estructural, bajo el análisis de componentes con característica estructural y no estructural. Los objetivos de desempeño consideran el riesgo sísmico y la vulnerabilidad estructural. El desempeño es una relación entre la intensidad de la carga sísmica con niveles de

funcionamiento, siendo estos: Completamente Operacional, Operacional, Seguridad de Vida y Prevención de Colapso.

### ***Normativa ACI 562-19***

El objetivo principal de la normativa se encuentra en proporcionar requerimientos para la reparación, rehabilitación y evaluación de estructuras de concreto, con el propósito de obtener un nivel mínimo de confiabilidad en las edificaciones que han sido intervenidas. El código provee y promueve el uso de materiales novedosos junto al uso de técnicas sostenibles y viables económicamente (ACI Committee 562, 2019).

Es importante tener en cuenta normativas que consideren estándares de calidad para estructuras existentes a lo largo de su vida útil, debido a que el continuo progreso del conocimiento puede volver a muchos conceptos existentes insuficientes para asegurar la resiliencia estructural, mismos que pueden aplicarse correctamente en una etapa de diseño o que buscan implementarse después de un evento sísmico, una vez los daños y consecuencias del mismo han afectado al entorno.

### ***Metodología FEMA P-1000***

La metodología presenta pautas para mejorar la seguridad de unidades educativas ante peligros naturales. La idea de la normativa se centra en la prevención, protección y mitigación para las edificaciones de ocupación especial englobando amenazas naturales, tecnológicas, biológicas y otras incitadas por el hombre. En el caso del presente proyecto se presta especial atención en el apartado de amenazas naturales como terremotos y los esquemas de prevención y gestión de riesgos , mismos que pueden presentar planes de respuesta alejados de una intervención directa de la edificación sobre sus elementos estructurales, rescatando la planificación y adecuado manejo de las instituciones ante una emergencia , mismos que

determinan una mejor respuesta ante un evento sísmico y con efectos en el tiempo de reocupación y resiliencia comunitaria (FEMA, 2017).

### ***Metodología FEMA P-58***

#### ***FEMA P-58-1, Seismic Performance Assessment of Buildings, Methodology:***

El presente volumen explica la generalidad de una metodología a fin de poder realizar evaluaciones en base a su desempeño sísmico, además de conocer que datos son necesarios y que procedimientos se recomiendan para la obtención de información básica sobre la edificación, respuesta estructural, fractura y datos consecuentes que se utiliza como insumos para la metodología (FEMA P58-1, 2018).

#### ***FEMA P-58-2, Seismic Performance Assessment of Buildings, Implementation Guide:***

El volumen 2 de igual manera proporciona instrucciones para poder implementar todo lo detallado en el volumen 1, este volumen incluye los pasos para preparar los datos de entrada en el programa PACT y un ejemplo donde se explica el procedimiento para el cálculo y la generación de datos (FEMA P58-1, 2018).

#### ***FEMA P-58-3, Seismic Performance Assessment of Buildings, Supporting Electronic Materials and Background Documentation:***

El volumen 3 incluye la variedad de herramientas con base electrónica que ayudan a los ingenieros a realizar evaluaciones de desempeño sísmico y comprender la base técnica de la metodología (FEMA P58-1, 2018).

## Capítulo 3

### Marco Metodológico

#### Determinación de lugares de estudio

Para el proyecto de investigación se seleccionarán tres edificaciones ubicadas en tres unidades educativas pertenecientes a la ciudad de Sangolquí en el cantón Rumiñahui. Para la selección de las mismas será importante la apertura y disponibilidad por parte de las autoridades y de las instituciones, para llevar a cabo las actividades y ensayos requeridos para el análisis de las edificaciones.

En lo que respecta a la disponibilidad de información de las edificaciones se busca mantener un nivel de incertidumbre moderado como mínimo, de acuerdo con las características descritas por la NEC-SE-RE. Con esto se buscará edificaciones con acceso a esta información técnica, así como estudios previos aledaños que faciliten el análisis y una mayor adquisición de esta información a lo largo de la investigación, de este modo se busca generar un acercamiento a un análisis con metodología basada en tiempos de recuperación con búsqueda en una resiliencia comunitaria ante eventos sísmicos.

#### Recolección de datos preliminares

Para proceder con el análisis sísmico y estructural de las diferentes unidades educativas es necesario recopilar toda la información existente de las edificaciones como planos arquitectónicos, estructurales y estudios de suelos con la información geotécnica de la zona y diferentes fenómenos existentes en la implantación de la estructura sumado a investigaciones previas de la zona o de la edificación de estudio, afines a los objetivos de la investigación. Toda esta recolección de información se suma a la continua coordinación de procesos administrativos necesarios para realizar ensayos que permitan complementar la información existente.



**Levantamiento de información**

La información recopilada se verificará con mediciones y ensayos de campo que corroboren la veracidad de la información, también se registrará posibles cambios o modificaciones arquitectónicas o estructurales no contemplados de manera que alteren el desempeño diseñado y esperado para la estructura.

**Geotecnia de la zona**

La información geotécnica de la zona se apegará a la clasificación e información planteada por la normativa NEC-15, donde se recopilarán los estudios existentes de la implantación de las edificaciones seleccionadas de las diferentes unidades educativas que faciliten conocer las características mecánicas, hidráulicas o físicas que den paso a la caracterización del subsuelo.

**Metodologías de análisis**

Para la compilación de información, caracterización de las estructuras, nivel de incertidumbre de los datos existentes, metodología de riesgo sísmico y demás parámetros que competen a la evaluación del desempeño estructural se harán uso de diferentes normativas entre las cuales se destacan la normativa FEMA 2090, FEMA P58, ASCE 41-17 y NEC-15.

Las normativas antes mencionadas permitirán guiar de manera coherente el proceso de análisis que se realiza, mediante un enfoque en la evaluación, rehabilitación y reocupación de las edificaciones existentes ante una actividad sísmica, y teniendo al análisis estático no lineal como principal herramienta a fin de determinar en la edificación su desempeño.

**Inspección de edificaciones*****Búsqueda de patologías***

De acuerdo a la metodología de análisis seleccionada para el análisis de la estructura se procede a realizar una inspección visual de la edificación que permita conocer posibles fallencias

estructurales existentes de manera que perjudiquen el comportamiento sísmico de la edificación. Se registran errores constructivos y patologías estructurales que se presenten en la estructura debido a la falta de un control en el proceso constructivo, falencias no contempladas en el diseño o daños adquiridos en la ocupación de la estructura.

### ***Verificación de geometría***

Con el uso de instrumentos básicos de medición como un medidor laser, cinta métrica y un flexómetro se verifica en toda la estructura que las medidas detalladas en los planos y documentos oficiales de elementos estructurales y no estructurales con sus secciones, luces, alturas de entre piso coincidan con estos; y se registra cualquier modificación arquitectónica o estructural que difiera de los planos obtenidos.

### **Ensayos no destructivos**

#### ***Pachómetro***

El ensayo utilizado para la detección de la armadura del hormigón armado es el Pachómetro. Se parte con el reconocimiento de los planos estructurales, se identifica los tipos de elementos estructurales y la configuración del armado.

En campo se procede a utilizar el equipo para comprobar la armadura: cantidad, profundidad, y diámetro. El equipo funciona mediante ondas, se ubica el sensor sobre la superficie plana del elemento y se desliza en diferentes sentidos. Finalmente se marca en el elemento la ubicación de la armadura, y de ser posible se estima el grosor del elemento de acero.

#### ***Esclerómetro***

El ensayo del esclerómetro es ideado para estimar la resistencia a la compresión del hormigón, el cual se fundamenta en el rebote de la superficie ensayada de roca.

La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a compresión simple mediante el gráfico de correlación de Miller, que también depende de la orientación del martillo respecto del plano de ensayo (Lozano, 2009).

Para este ensayo existen dos tipos de martillos los cuales varían por el tipo de energía de impacto, por ejemplo, la clase N cuenta con una energía de impacto de 2,207 N.m, mientras que para la clase L es de 0,735 N.m.

Los primeros pasos para ejecutar el ensayo es preparar la superficie a la que se va a realizar la prueba eliminando su recubrimiento, y esto se logra con la lija circular. Teniendo ya uniforme la superficie se traza una cuadrícula de 16 puntos con separaciones de 0,05 m, posteriormente se coloca el martillo en posición perpendicular a la superficie en cada punto de la matriz a ensayar teniendo así 16 lecturas. Después de eso, se empuja el martillo contra la superficie y se dispara un punzón de impacto mientras que el seguro salta hacia fuera, se pulsa el seguro para bloquear el vástago de impacto posterior a cada impacto. Inmediatamente se debe leer y apuntar el resultado señalado por el instrumento.

Una vez terminado el ensayo con sus 16 lecturas de rebotes, se debe realizar el tratamiento de los datos para poder reducir el porcentaje de error, y los pasos son eliminar las lecturas más bajas y más altas, posteriormente con los datos sobrantes se procede a calcular la media del rebote. Una vez obtenidos las lecturas y de acuerdo con el ábaco de Miller se puede correlacionar la resistencia a la compresión y el valor medio de rebote (Lozano, 2009).

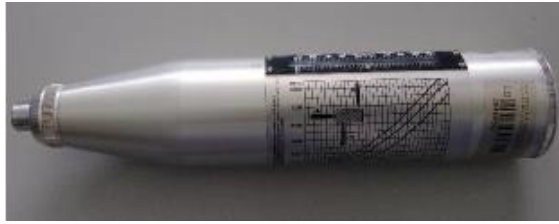
### ***Detalles de equipo***

Este ensayo este compuesto por dos elementos:

- Esclerómetro
- Lija circular

**Figura 16**

*Esclerómetro*



*Nota:* Recuperado de *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE* (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021).

**Figura 17**

*Lija circular*



*Nota:* Recuperado de *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE* (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021).

### **Instrumentación de estructuras**

La instrumentación de estructuras consiste en determinar las propiedades dinámicas de la edificación con el fin de evaluar su respuesta estructural y definir que afectaciones se podrían presentar.

### ***Equipo necesario***

Tal como lo menciona (Arcentales & Yépez, 2020) es necesario ciertos implementos para la instrumentación de estructuras, mismos que se encuentran descritos en la siguiente lista:

- Fuente de poder
- Dispositivo de adquisición de datos (DAQ)
- Sensores
- Cables coaxiales y extensiones
- Computadora
- Software para registro y procesamiento de datos
- Documentación

### ***Previo a ensayo de campo***

La organización en este ensayo es clave para un correcto procesamiento de señales considerando la organización de la meta data y la delicadeza de los instrumentos necesarios para llevarlo a cabo.

En primer lugar, es necesario realizar un reconocimiento de la estructura a ensayar puesto que se requiere una correcta planeación del ensayo, con el fin de optimizar el tiempo. Se debe seleccionar dos puntos opuestos de la estructura en los que se colocarán los sensores, dichos puntos se deben encontrar en elementos estructurales, de preferencia la unión de una viga con una columna; el proceso de selección de puntos se realizará en dos pisos de la edificación con un máximo de un piso de diferencia entre ellos.

En segundo lugar, hay que tener presente que los cables deben ser marcados de manera que no haya confusión en el registro de los sensores. Finalmente es necesario descargar los programas asociados al ensayo con sus respectivas licencias, la interfaz de usuario debe ser estudiada por la persona a cargo del ensayo para su correcta configuración y registro (Arcentales & Yépez, 2020).

### ***Ensayo de campo***

El protocolo del ensayo requiere asegurar la menor cantidad de fuentes de ruido que alteren los resultados de los sensores, por lo que se debe seleccionar una hora de ensayo adecuada conociendo las condiciones de sitio. Previo a la extensión de cables ópticos y extensiones, es necesario marcar los puntos previamente establecidos para la colocación de cubos metálicos en donde se colocarán los sensores, queda a elección de los encargados del ensayo la manera de asegurar los cubos al elemento estructural elegido.

La colocación de los sensores se hace enroscando, con su debido cuidado, a los cubos metálicos colocados previamente, cabe recalcar que en el registro de meta data es necesario escribir los factores de calibración asociados a cada sensor en el sentido que se coloque; los sensores se deben colocar en dirección a los ejes principales de la estructura.

A la par de la colocación de los sensores es necesario instalar el DAQ en el lugar escogido conjuntamente con la computadora que contenga los programas de almacenamiento y configuración del ensayo. Es necesario garantizar una fuente de poder para estos elementos. Finalmente se necesita extender los cables ópticos verificando que en toda su extensión no se encuentren comprometidos con dobleces o enredos, se debe tratar los cables de recolección de datos con extrema delicadeza y estos deben ser conectados al DAQ, en caso que no se salve la extensión entre los sensores y el DAQ, es necesario utilizar las extensiones de los mismos siempre cuidando que no se tensen los cables.

Finalmente, con todos los elementos conectados entre sí, se debe correr el ensayo por un tiempo estimado mínimo de media hora con registros cada 3 min, cualquier alteración que ocurra en el tiempo del ensayo quedará registrada como un pico de ruido en el archivo respectivo. Una vez finalizado el ensayo se debe guardar los elementos de instrumentación con

total delicadeza, preferiblemente de manera inversa al montaje mencionado (Arcentales & Yépez, 2020).

### ***Resultados y tratamiento de datos***

Los resultados del ensayo se visualizarán como archivos de texto con una columna por sensor, estos seguirán el orden en el que se haya registrado la meta data. Es recomendable el uso del software Geopsy de manera que se pueda seleccionar más fácilmente los registros que contengan menos señales de ruido, posteriormente es posible utilizar este programa para facilitar el proceso de “peak picking” (López, Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021).

La mayor parte del tratamiento de datos se realiza a través de programas del software Matlab, que se encargará de mostrar las herramientas visuales para la selección de las frecuencias naturales de la estructura, misma que queda a criterio de la persona encargada. Cabe destacar que, para el cálculo de las herramientas visuales, es necesario un registro completo de 9 minutos, previamente seleccionado entre 3 de los archivos obtenidos en el ensayo (Arcentales & Yépez, 2020).

### **Análisis de cargas en la estructura**

Para cualquier modelo analítico computacional es necesario considerar las cargas estáticas y dinámicas. Las cuales son obtenidas por medio de la normativa de riesgo sísmico ecuatoriana NEC-SE-DS.

Las cargas permanentes se pueden calcular mediante el peso específico del material especificado en la normativa NEC-15 y también de sus dimensiones, las cargas temporales están basadas en la ocupación o uso de la estructura. Las edificaciones analizadas en el presente trabajo son de ocupación especial lo que significa que son centros de estudio que albergan más de trescientas personas, estas edificaciones se componen de aulas y laboratorios, estos poseen una variedad de equipos de estudio de los cuales su peso es variable.

Asimismo, para poder determinar el corte basal en la estructura y su distribución correspondiente a cada piso, es necesario definir varios parámetros de acuerdo con las propiedades de la edificación. Estos son el componente de disminución de resistencia sísmica (R) y el coeficiente de importancia (I) (MIDUVI, 2014) .

El código NEC-SE-DS nos recomienda que los factores de reducción de resistencia sísmica (R) depende de la característica de la estructura y nuestro factor de importancia depende de la categoría de nuestro bloque a estudiar, para todos los modelos se usará el valor de 1,3 por tratarse de una edificación de ocupación especial.

MIDUVI (2014) señala que “el propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño” (p.41).

### **Elaboración de modelo analítico computacional**

El modelo de cada estructura se realiza en función de las dimensiones de sus elementos constructivos, no constructivos y de las propiedades mecánicas de los materiales determinadas mediante ensayos no destructivos en campo, para ingresarlos en el software seleccionado SeismoStruct de la empresa Seismosoft SRL. Carvajal (2015) señala que “SEISMOSTRUCT es capaz de predecir el comportamiento con grandes desplazamientos de pórticos espaciales, sometidos a cargas estáticas o dinámicas, teniendo en cuenta tanto las linealidades geométricas, como la inelasticidad de los materiales” (p.1).

En cada modelo se definen todos los nodos estructurales y no estructurales según las dimensiones de cada vano, número de pisos y sus respectivas alturas, se ingresa las dimensiones, sección y armadura de cada componente estructural como vigas y columnas para luego estipular la conexión de los elementos; adicional se selecciona las unidades en las que se



va a trabajar y las propiedades de los materiales (tipo de hormigón y acero de la armadura). Posteriormente se establece el tipo de análisis, tipo de elemento de pórtico, donde se define la clase de elementos para el modelo de los miembros estructurales, la opción por defecto, es el elemento inelástico de pórtico basado en fuerzas (infrmFB), para columnas y vigas; y para el caso de mampostería es el elemento inelástico “infill” de panel.

Se debe especificar las condiciones de vínculos internos (diafragma rígido), nodo maestro asociado, la restricción de los grados de libertad y los nodos esclavos; y delimitar los seis grados de libertad de los nodos del suelo de la estructura. Ya introducida la geometría general y específica se definen las solicitaciones de la edificación mediante el módulo de condiciones de carga (carga incremental, carga permanente, carga dinámica).

Y para realizar el Pushover adaptativo de nuestro modelo se introduce el respectivo procedimiento de aplicación de cargas y los parámetros adicionales incluidos en el módulo del Pushover adaptativo (tipo de escalado, grados de libertad de los factores de participación modal y amplificación espectral).

### ***Análisis de respuesta de la estructura***

**Análisis de vectores propios.** El análisis de vectores propios es el proceso en el que se caracteriza a una edificación con base en sus propiedades dinámicas, encontrándose entre estas la frecuencia natural, masa modal, amortiguación modal y modo de vibración propio. Para los casos de estudio, se implementa el análisis de vectores propios para determinar los modos característicos de la estructura para que junto a la instrumentación de vibración ambiental se logre calibrar los modelos matemáticos de las edificaciones. De esta manera se busca conseguir resultados con una gran aproximación al comportamiento real que se presentará en la edificación ante la amenaza sísmica establecida para los distintos objetivos de desempeño seleccionados.

**Análisis estático no lineal.** Este análisis permite la obtención de la curva de capacidad de una estructura, siendo esta una herramienta que permite evaluar su comportamiento ante la acción de cargas laterales que considera el progresivo daño de la misma. Para las estructuras del proyecto se implementa un análisis estático no lineal (Pushover) a fin de analizar los criterios de aceptación para acciones controladas por deformaciones. Con esto se verifica si las edificaciones cumplen con el objetivo de desempeño seleccionado, el mismo que se relaciona con la amenaza sísmica y niveles de desempeño, que para nuestro caso de estudio se optó por objetivos de desempeño avanzados, es decir, seguridad de vida y prevención de colapso.

#### **Tiempo de Recuperación efectivo**

Se utiliza los volúmenes 1 y 2 del FEMA P-58, para recopilar los datos e información necesaria para utilizar la herramienta PACT, esta herramienta permite calcular el tiempo de recuperación efectiva.

La herramienta PACT permite considerar algunos campos:

- Información elemental de la estructura.
- Modelo de ocupación.
- Grupos de fragilidad de la estructura.
- Grupos de desempeño.
- Análisis Incremental Dinámico aproximado (IDA).
- Modos de colapso.
- Resultados del análisis estructural

Si no se cuenta con toda la información, se puede acceder a escoger valores de la base de datos del programa.

## **Herramienta PACT**

### ***Información elemental de la estructura***

La Información elemental de la estructura levantada previamente se introduce en este apartado. Información típica como número de pisos, áreas y alturas de entrepiso; adicionalmente, el programa requiere costos tanto de reemplazo completo como de reconstrucción de la estructura, estos valores no se tomaron en cuenta puesto que el presente proyecto se enfoca en el tiempo de recuperación eficaz. El tiempo mínimo de reconstrucción en caso de colapso se fijó en 180 días para todas las estructuras analizadas. Este valor se plantea en función de los tiempos de reconstrucción y demolición en obra (Aveiga & Carvajal, 2018).

### ***Modelo de ocupación***

Estos modelos definen la cantidad de personas que se hallan en la estructura a lo largo de distintos lapsos de tiempo, estos pueden ser durante el día, el mes o el año. De acuerdo a la ocupación de la estructura corresponden distintos patrones de ocupación (FEMA, 2018). Es posible considerar dentro del programa distintos tipos de ocupación, para el presente estudio, se consideró el modelo poblacional Education (k-12) Elementary Schools.

### ***Grupos de fragilidad de la estructura***

Es un grupo de componentes estructurales o no estructurales que tienen un tipo y consecuencias de daño similares (FEMA, 2018). Los grupos de fragilidad de cada caso de análisis se seleccionaron tomando en cuenta las características de cada estructura analizada. Los grupos de fragilidad se escogen de la base de datos provista y se identifican mediante un código alfanumérico de identificación. La asignación de grupos de fragilidad se la realiza por piso de acuerdo a la información recolectada en la caracterización de la estructura.

### **Grupos de desempeño**

Seleccionados los conjuntos de fragilidad, es necesario juntar los mismos en grupos bajo la premisa de que tengan el mismo parámetro de demanda y dirección. En este paso se debe especificar la cantidad de elementos por grupo de fragilidad (FEMA, 2018).

### **Análisis Incremental Dinámico aproximado (IDA)**

El análisis IDA aproximado se desarrolla a partir de modelos no lineales de un solo grado de libertad de propiedades variables que son accesibles a través de la herramienta Static Pushover 2 Incremental Dynamic Analysis (SP2OIDA) estas herramientas están disponibles en el Volumen 3 del FEMA P-58.

La elaboración del modelo matemático del presente trabajo no fue basada en el código ASCE/SEI 41-06, sino se generaron mediante el programa SeismoStruct. La herramienta electrónica SPO2IDA utiliza la curva Pushover idealizada. Esta consiste en cuatro puntos de control los cuales definen las características generales de la curva lineal por tramos. Después de la definición de los puntos de control, la herramienta requerirá la siguiente información de entrada adicional:

- Peso sísmico reactivo de la estructura
- Altura de la edificación
- Período fundamental de la edificación

Posterior a ejecutar la herramienta SPO2IDA se extrae la capacidad media de colapso. La estimación del colapso medio para  $S_a$ , esta se encuentra en la pestaña de resultados de IDA como la entrada de la última fila en la columna  $S_a$ . Finalmente, se define la función de fragilidad del colapso utilizando la capacidad media de colapso de SPO2IDA y una dispersión asignada de 0,6. Este es el valor mínimo de la dispersión recomendado para análisis simplificados considerando la FEMA P58 -1 (FEMA, 2018).

### ***Modos de colapso***

Una vez obtenida la aceleración media de colapso, los modos de colapso serán tomados bajo criterio de la persona encargada del estudio. En caso de tener múltiples modos de colapso, se debe estimar la probabilidad de ocurrencia de cada uno (FEMA P58-1, 2018). Para el presente estudio se seleccionó un único modo de colapso, referido al colapso global de la estructura con una probabilidad de 1.

### ***Resultados del análisis estructural***

Existen diversos tipos de estudio a realizarse de acuerdo a la normativa FEMA P-58, en el presente estudio se seleccionó un estudio simplificado basado en intensidad, la intensidad seleccionada corresponde a la máxima aceleración presentada en el sismo de diseño para el cantón Sangolquí, tipo de suelo D y multiplicado por el factor de importancia para unidades educativas, correspondiente a 1,3 (MIDUVI, 2014).

Bajo lo antes mencionado, es necesario realizar la estimación de cargas sísmicas y distribuir las tanto en altura como a lo largo de los ejes principales de la estructura, todo bajo lo mencionado en la normativa NEC-15. Con las cargas puntuales distribuidas, se realiza un análisis lineal estático y se determinan las derivas producidas en cada sentido. En el caso de la aceleración máxima de piso es necesario aplicar las fórmulas presentadas en el FEMA P-58-1 basadas en el ASCE 41-17, estas aplican un factor de corrección al PGA determinado (FEMA P58-1, 2018).

### ***Resultados esperados***

Existen numerosos puntos de análisis para los resultados obtenidos en la herramienta PACT, puesto que aborda el desempeño de distintas maneras, tanto económicas como de tiempo de reparación y de fatalidades. La pestaña de resultados de tiempo de reparación es crucial para este estudio, ya que provee información sobre los elementos estructurales

vulnerables que pueden ser intervenidos con el fin de lograr el objetivo de un menor tiempo de recuperación efectivo. Considerar el tiempo de recuperación efectivo es considerado un paso más cerca a la resiliencia estructural (FEMA, 2021).

## Capítulo 4

### Unidad Educativa 1

#### Ubicación UE1

La Unidad Educativa 1 está ubicada en la provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui, entre las calles 11 de abril y 12 de febrero. Las coordenadas geográficas del bloque topográfico se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Coordenadas geográficas bloque 2\_3 de la UE1*

Edificación	Punto	Latitud	Longitud
BLOQUE 2_3	A	0°20'32.23"S	78°26'24.06"O
	B	0°20'32.11"S	78°26'23.52"O
	C	0°20'32.60"S	78°26'23.00"O
	D	0°20'32.47"S	78°26'23,45"O

**Figura 18**

*Edificación de análisis y nomenclatura de coordenadas*



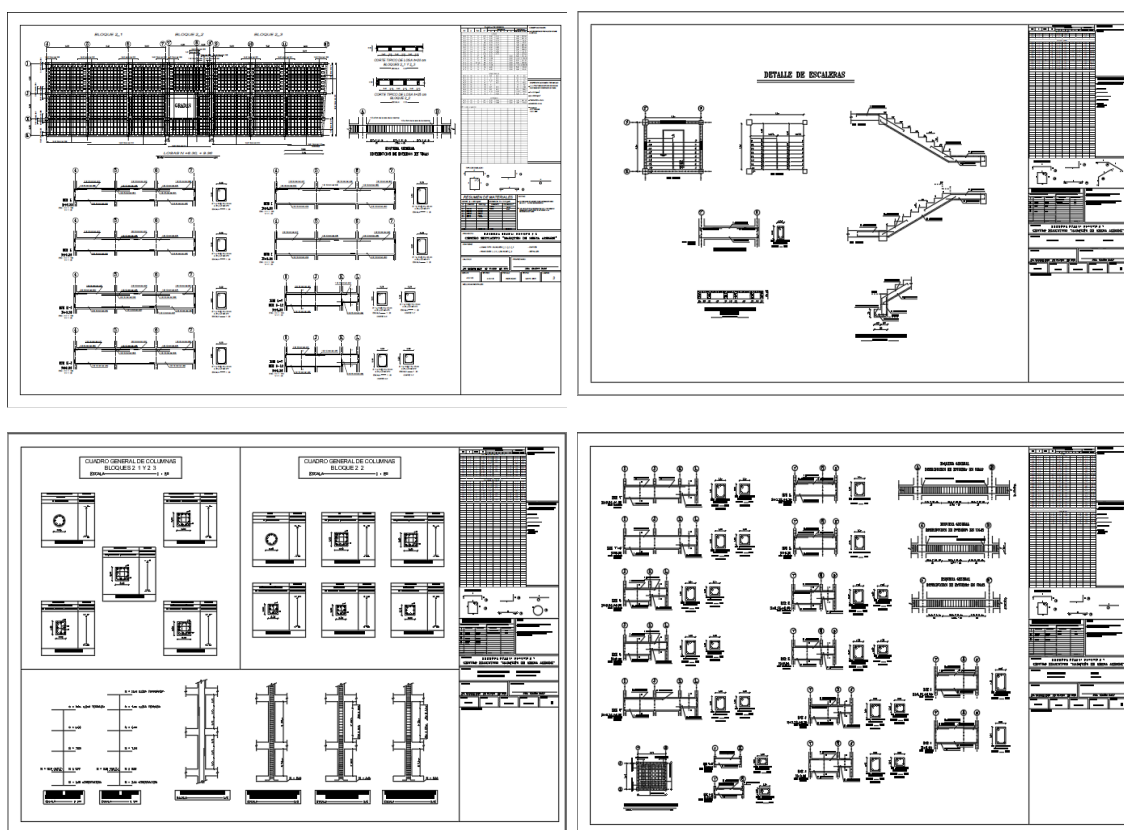
*Nota:* Mapa de ubicación del bloque de estudio en la UE1.

## Referencia arquitectónica y estructural

Toda la información correspondiente a los planos guías, como los son los estructurales y arquitectónicos fueron obtenidos por medio de un acercamiento entre la directora de la unidad educativa y la directora del presente proyecto de titulación, esta información fue corroborada con visitas e inspecciones visuales.

**Figura 19**

### *Planos arquitectónicos y estructurales*



*Nota:* Planos estructurales de la UE1.

## Descripción general

La Unidad Educativa 1, cuenta de tres bloques separados por juntas constructivas de aproximadamente 15 cm, para nuestro estudio se consideró el bloque 2\_3, puesto que esta edificación cumple funciones de centro pedagógico, el cual lo hace pertenecer a la clasificación de una estructura de ocupación especial.



El sistema estructural de esta edificación se compone por vigas, columnas y losas elaborados en hormigón armado, también, cuenta con una cubierta accesible en donde se han realizado nuevas obras constructivas como lo son baños para los estudiantes, lo cual influirá en el peso de la estructura, asimismo, esta edificación presenta irregularidad en planta debido a un eje no paralelo. Todas estas características se explicarán más detalladamente en el apartado de descripción de la estructura.

### **Figura 20**

*Fachada norte de la UE1*



*Nota:* Foto de la fachada norte de la UE1.

### **Tipo de suelo**

El código – ASCE4117 se utiliza como referencia para seleccionar el tipo de suelo a utilizar para el análisis. Esto indica que, si no está seguro del tipo de suelo que soporta la estructura, puede usar el tipo de suelo D. (ASCE/SEI , 2017).

### **Zona sísmica**

La normativa ecuatoriana NEC-SE-DS cataloga el valor de la zona sísmica de todo el territorio ecuatoriano sin contar sus excepciones. Nuestra unidad educativa pertenece a una

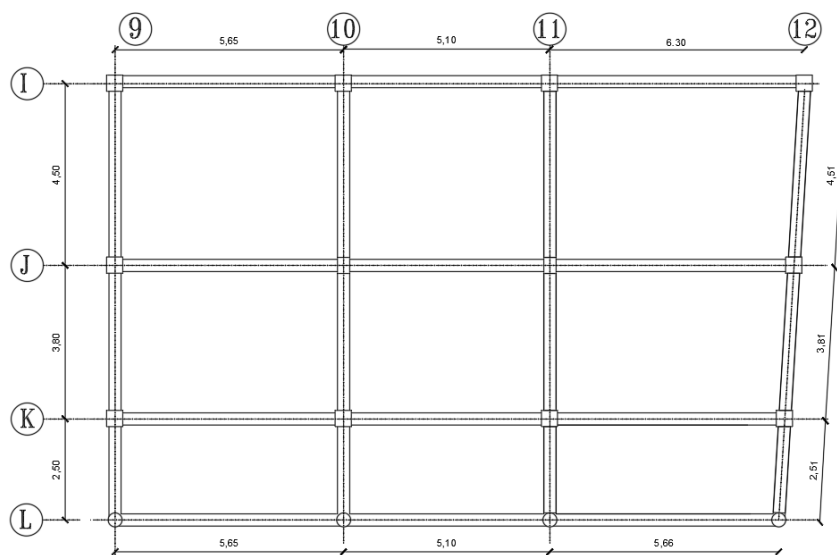
zona sísmica V, el cual representa un valor de factor Z de 0,40. Esto indica que la estructura se encuentra en un área con alto riesgo sísmico.

### Descripción en planta

Para referenciar las siguientes imágenes vistas en planta, tomaremos como el “eje x” el sentido largo de la estructura y para “eje y” el sentido más corto, además, el “eje z” representa el eje perpendicular a los ejes “x” y “y”.

### Figura 21

*Vista en planta del bloque 2-3 UE1*



*Nota:* Plano referencial del bloque 2\_3 de la UE1 vista en planta.

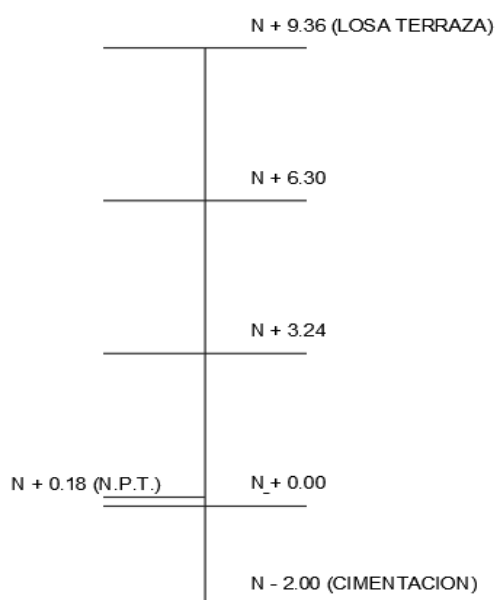
Esta edificación en el sentido X, está conformado por 4 ejes y estos a su vez por 3 vanos. Las dimensiones varían de 5,66 a 6,30 metros. De igual manera, en el sentido Y la edificación cuenta con 4 ejes, donde los tres primeros poseen las mismas dimensiones. Sin embargo, el último eje en este sentido varía en longitud.

### Descripción en elevación

La edificación está constituida por tres niveles, donde el primer nivel tiene una altura de 3,24 m y los demás 3,06m. Bajo lo indicado la altura total de la estructura es 9,36 m desde el nivel natural del terreno. Además, cuenta con una profundidad de cimentación de 2,0 m, esto se detalla en la figura 22.

### Figura 22

*Vista en elevación bloque 2\_3 UE1*



*Nota:* Gráfico referencial de vista en elevación del bloque 2\_3.

### Dimensiones de elementos estructurales

El bloque 2\_3 de la unidad educativa 1, cuenta con diferentes secciones en sus elementos estructurales, tanto en columnas y vigas. Todo esto por motivos de optimización de recursos de material como también de un diseño estructural más conservador.

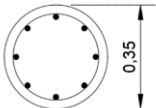
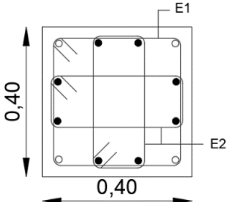
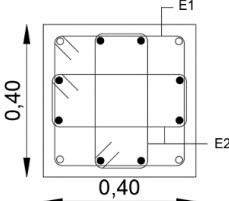
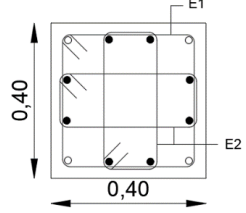
### Secciones de columnas

El bloque de estudio se encuentra conformado por 5 tipos de secciones de columnas, que las cuales varían según su forma, armado transversal y espaciamiento. A continuación, se muestra una tabla resumen de estos tipos de columnas y sus principales características.

### Dimensiones de los elementos estructurales

**Tabla 6**

*Cuadro resumen de columnas del bloque de estudio UE1*

<b>Cuadro de columnas</b>			
N.º de columnas	Ubicación	Armado	Esquema [m]
4	L9, L10, L11, L12	● 8Ø16mm  1ZØ12mm@7,5cm	
4	K9, K12, J9, J12	○ 4Ø16mm  ● 8Ø18mm  1E1Ø12mm+2E2Ø10mm  @10 y 20 cm	
4	I9, I10, I11, I12	○ 4Ø18mm  ● 8Ø16mm  1E1Ø10mm+2E2Ø10mm  @10 y 20 cm	
2	K10, K11	○ 4Ø20mm  ● 8Ø18mm  1E1Ø10mm+2E2Ø10mm  @10 y 20 cm	

2	J10, J11	$\circ 10\emptyset 20\text{mm}$ $\bullet 2\emptyset 18\text{mm}$ $1E1\emptyset 12\text{mm} + 1E2\emptyset 10\text{mm} +$ $1E3\emptyset 10\text{mm @ 10 y 20 cm}$	
---	----------	---	--

*Nota:* Tabla resumen del tipo de columnas del bloque 2\_3 dimensiones consideradas en metros.

### Secciones de vigas

El bloque 2\_3 se compone por vigas descolgadas elaboradas de hormigón armado, que cuentan 3 diferentes secciones, estas son de 0,30x0,40 cmxcm; 0,30x0,30 cmxcm; 0,30x0,50 cmxcm. El acero de refuerzo depende de la ubicación de la viga y las cargas que soportan cada una. En las tablas 7 y 8 se especifica de mejor manera sus dimensiones, ubicación y armado.

### Tabla 7

*Cuadro resumen de vigas de entepiso del bloque de estudio UE1*

Niveles	Ejes	Ejes	Armado	Esquema [m]
N+3,24	I	9-12	$\circ 2\emptyset 18\text{mm}$ $\bullet 3\emptyset 18\text{mm}$ $1E1\emptyset 10\text{mm @ 10 y 20}$ $\text{cm a } 2h \text{ y } L/2$	
N+3,24	J	9-12	$\circ 2\emptyset 18\text{mm}$ $\bullet 3\emptyset 18\text{mm}$ $1E1\emptyset 10\text{mm @ 10 y 20}$ $\text{cm a } 2h \text{ y } L/2$	

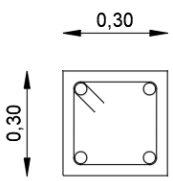
N+3,24	K	9-12	○ 2Ø18mm	
N+6,30			● 4Ø18mm 1E1Ø10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+3,24	L	9-12	○ 2Ø16mm	
N+6,30			● 3Ø16mm 1E1Ø10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+6,30	9-12	I-K	○ 2Ø16mm	
			● 3Ø16mm 1E1Ø10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+6,30	9-12	K-L	○ 4Ø16mm	
			1E1Ø10mm @ 7,5 y 15 cm a 2h y L/2	
N+3,24	9-12	I-K	○ 2Ø16mm	
			● 3Ø18mm 1E1Ø10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+3,24	9-12	K-L	○ 2Ø16mm	
			● 2Ø18mm 1E1Ø10mm @ 7,5 y 15 cm a 2h y L/2	

*Nota:* Tabla resumen del tipo de vigas que hay en entrepiso del bloque 2\_3, medidas en metros.

Tabla 8

Cuadro resumen de vigas de cubierta del bloque de estudio UE1

Niveles	Ejes	Ejes	Armado	Esquema
N+9,36	I	9-12	$\circ$ 2 $\emptyset$ 18mm $\bullet$ 2 $\emptyset$ 18mm 1E1 $\emptyset$ 10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+9,36	J	9-12	$\circ$ 3 $\emptyset$ 18mm $\bullet$ 4 $\emptyset$ 18mm 1E1 $\emptyset$ 10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+9,36	K	9-12	$\circ$ 2 $\emptyset$ 18mm $\bullet$ 3 $\emptyset$ 18mm 1E1 $\emptyset$ 10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+9,36	L	9-12	$\circ$ 2 $\emptyset$ 16mm $\bullet$ 3 $\emptyset$ 16mm 1E1 $\emptyset$ 10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	
N+9,36	9-12	I-K	$\circ$ 4 $\emptyset$ 16mm 1E1 $\emptyset$ 10mm @ 10 y 20 cm a 2h y L/2	

N+9,36	9-12	K-L	o 4Ø16mm	
			1E1Ø10mm @ 7,5 y	
			15 cm a 2h y L/2	
				

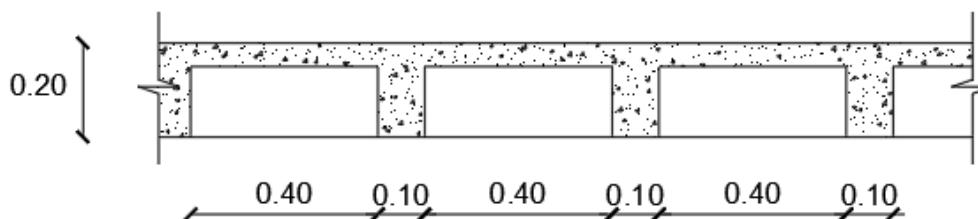
*Nota:* Tabla resumen del tipo de vigas que hay en cubierta del bloque 2\_3, medidas en metros.

### **Secciones de losas**

La losa de esta edificación es de tipo alivianada bidireccional, esta cuenta con un espesor de 20 cm y, además, posee una carpeta de compresión de 5cm de espesor, también, cuenta con un nervio de 10x20 cm x cm de sección transversal. A continuación, se detalla en la figura 23 de un corte típico de losa.

**Figura 23**

*Corte típico de losa*



*Nota:* Medidas tomadas en metros.

**Tabla 9**

Parámetro geométrico de la losa

Parámetro	Valor	Unidad
Altura Losa	20	Cm
Altura Carpeta de Compresión	5	Cm
Base Nervio	10	cm

*Nota:* Características geométricas de la losa.





Para determinar las diferentes cargas actuantes se obtendrá el aporte de los elementos de análisis a partir de la densidad propuesta en base a la normativa NEC-SE-CG para distribuirlos en el área actuante y de este modo obtener cargas distribuidas por unidad de área de acuerdo con la metodología tradicional.

### ***Peso de vigas***

El peso propio de vigas se ha definido midiendo su longitud efectiva en el piso, mismo que se multiplicará por su sección transversal para distribuirlo en el área total del piso, apegándonos a la metodología tradicional para el cálculo de cargas, a continuación, se detallan las medidas obtenidas a partir de la geometría general multiplicadas en función del peso específico para así obtener el peso total de vigas.

**Tabla 10**

*Análisis del peso total de vigas del bloque 2\_3*

<b><i>Cálculo de peso propio de vigas</i></b>	
<i>Área sección V30x30</i>	<i>0,09 m<sup>2</sup></i>
<i>Área sección V30x40</i>	<i>0,12 m<sup>2</sup></i>
<i>Área sección V30x50</i>	<i>0,15 m<sup>2</sup></i>
<i>Longitud V30x30</i>	<i>8,56 m</i>
<i>Longitud V30x40</i>	<i>45,36 m</i>
<i>Longitud V30x50</i>	<i>46,85 m</i>
<i>Peso propio V30x30</i>	<i>18,49 kN</i>
<i>Peso propio V30x40</i>	<i>130,64 kN</i>
<i>Peso propio V30x50</i>	<i>168,66 kN</i>
<i>Peso total de vigas</i>	<i>317,79 kN</i>
<i>Áreas de piso</i>	<i>189,23 m<sup>2</sup></i>
<b><i>Peso total de vigas</i></b>	<b><i>1,68 kN/m<sup>2</sup></i></b>

*Nota:* Tabla que detalla las secciones de vigas como también el peso de cada una de ellas.

### ***Peso de columnas***

El peso propio de columnas sigue lo ya mencionado en el cálculo para el peso de vigas, a continuación, se detallan las medidas obtenidas a partir de la geometría general y su multiplicación por el peso específico para determinar el peso total de las columnas.

**Tabla 11**

*Análisis del peso total de columnas del bloque 2\_3*

<b>Cálculo de peso propio de columnas</b>	
Área sección CD35	0,10 m <sup>2</sup>
Área sección C40x40	0,16 m <sup>2</sup>
Área sección C30x40	0,12 m <sup>2</sup>
Longitud CD35	12,24 m
Longitud C40x40	30,60 m
Longitud C30x40	6,12 m
Peso propio CD35	28,26 kN
Peso propio C40x40	117,50 kN
Peso propio C30x40	17,63 kN
Peso total de columnas	163,39 kN
<b>Peso total de columnas</b>	<b>0,86 kN/m<sup>2</sup></b>

*Nota:* Tabla que detalla las secciones de columnas como también el peso de cada una de ellas.

### **Peso de losa**

En este caso, se determina el peso característico del panel de un metro cuadrado de losa, la cual está conformada por bloques alivianados de 40 cm x20 cm x15 cm con una densidad de 8,5 KN/m<sup>3</sup> de acuerdo con la normativa NEC-SE-CG más adelante se especifica los elementos de la losa y su peso total.

**Tabla 12**

*Análisis del peso total de la losa del bloque 2\_3*

<b>Cálculo de peso propio de losa</b>	
Peso esp. de hormigón	24 kN/m <sup>3</sup>
Peso esp. de bloques	8,5 kN/m <sup>3</sup>
Peso de carpeta de compresión	1,2 kN/m <sup>2</sup>
Peso de nervios	1,296 kN/m <sup>2</sup>
Peso de alivianamientos	0,816 kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso total de losa</b>	<b>3,31 kN/m<sup>2</sup></b>

*Nota:* Tabla que detalla el peso de un metro cuadrado de losas.

### **Peso de paredes**

El peso de la mampostería se lo obtuvo mediante el volumen de la mampostería, se calculó el área y su ancho, después se multiplicó por el peso específico del bloque, llegando así a

tener el peso total de los bloques que equivale a la mampostería de los tres pisos. La Tabla 13 muestra los detalles del cálculo del peso de la mampostería.

**Tabla 13**

*Detalle geométricas de la mampostería del bloque 2\_3*

<b>Cálculo de peso propio de mampostería</b>	
Área de mampostería	77,54 m <sup>2</sup>
Ancho de mampostería	0,2 m
Peso de bloques	8,5 kN/m <sup>3</sup>
Bloques por m <sup>2</sup>	12,5 bloques/m <sup>2</sup>
<b>Peso Total bloques</b>	<b>1,7 kN/m<sup>2</sup></b>

*Nota:* Tabla que detalla el peso total de mampostería.

#### **Peso de acabados**

Para el apartado de acabados se ha considerado elementos del entrepiso como la cerámica, su alisado y el mortero, la cubierta al contar también con acabados se conservará la misma carga que en los entrepisos, la tabla 14 detalla el aporte de este parámetro.

**Tabla 14**

*Detalle de pesos por acabados UE2*

<b>Componente</b>	<b>Peso unitario (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso calculado (kN/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Cerámica</b>	18,00	1 * 1 * 0,01 * 18 = 0,18
<b>Mortero</b>	18,00	1 * 1 * 0,01 * 18 = 0,18
<b>Alisado</b>	20,00	1 * 1 * 0,02 * 20 = 0,4

*Nota:* Tabla que detalla los componentes considerados para el peso de acabados.

De este modo obtenemos un aporte total de 0,76 KN/m<sup>2</sup> mismo que se aumentará a 1 KN/m<sup>2</sup> para tener en cuenta el aporte de otros acabados no considerados como instalaciones, ventanas y otros mobiliarios empotrados o permanentes no considerados en el análisis.

### **Cargas temporales**

De acuerdo con la normativa NEC-SE-CG, las cargas temporales dependen de la ocupación o uso de la edificación. El bloque a analizar sirve como centro pedagógico, por lo que en función de esto se adoptó las cargas mínimas establecidas por la normativa para aulas.

A continuación, en la tabla 15 se especifica la carga temporal utilizada para el análisis.

**Tabla 15**

#### *Carga viva implementada*

<b>Ocupación o Uso</b>	<b>Carga uniforme (<math>kN/m^2</math>)</b>	<b>Carga concentrada</b>
<b>Unidades educativas</b>		
<i>Aulas</i>	<i>2,00</i>	<i>4,50</i>
<i>Corredores segundo piso y superior</i>	<i>4,00</i>	<i>4,50</i>
<i>Corredores primer piso</i>	<i>4,80</i>	<i>4,50</i>
<b>Cubierta</b>		
<i>Cubiertas destinadas para áreas de</i>	<i>3,00</i>	<i>-</i>

*Nota:* Tomado de NEC-SE-CG, por (MIDUVI, 2014).

### **Cortante basal de diseño**

Conforme con los datos recopilados respecto a la tipología de la estructura, el tipo de suelo, la zona sísmica, etc. Procedemos aplicar la metodología de estimación de la carga lateral en base de la normativa NEC-SE-DS, todos los valores se encuentran detallados en la tabla 17.

**Tabla 16**

#### *Parámetros para espectro de diseño elástico de la UE1*

<b>Parámetro</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Coeficiente de importancia	I	1,3	-
Factor de reducción de respuesta	R	8	-
Zona sísmica		V	
Factor de zona sísmica	Z	0,4	-
Relación entre aceleración espectral y PGA	n	2,48	-
Factor de acuerdo al tipo de edificación	Ct	0,055	-
Altura de la edificación	hn	9,36	m

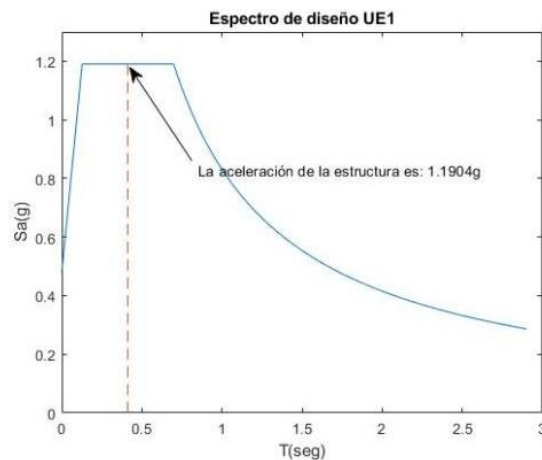
Factor de acuerdo al tipo de edificación	$\alpha$	0,9	-
Tipo de Suelo		D	
Factor de amplificación del suelo	Fa	1,2	-
Factor de amplificación del suelo	Fd	1,19	-
Factor de amplificación del suelo	Fs	1,28	-
Factor asociado al periodo de retorno	r	1,5	-
Coeficiente de irregularidad en planta	$\Phi_p$	0,9	-
Coeficiente de irregularidad en elevación	$\Phi_e$	1	-
Periodo de vibración	T	0,412	Seg.
Límite inicial en T = T0	T0	0,127	Seg.
Límite final en T = Tc	Tc	0,698	Seg.
Límite en T = TL	TL	4	Seg.
Aceleración para (T = 0)	Sa	2,78	g.
Aceleración para (T = T0)	Sa <sub>0</sub>	1,19	g.

*Nota:* Datos para la determinación del espectro elástico.

La figura 24 detalla el espectro de diseño de aceleraciones de la UE1

**Figura 24**

*Espectro elástico de diseño UE1*



*Nota:* Diseño del espectro elástico que corresponde al bloque 2\_3.

A continuación, se presenta los factores y coeficientes esenciales para calcular el cortante basal.

**Tabla 17**

*Coefficientes para el cortante basal para el bloque 2\_3 de la UE1*

<b>COEFICIENTE DE CORTE BASAL</b>		
$T_a$	0,41	seg
$S_a(T_a)$	1,19	g
$I$	1,3	s.u
$R$	8	s.u
$\phi_p$	0,9	s.u
$\phi_e$	1	s.u

*Nota:* Valores para el cálculo del cortante basal

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} W \quad (8)$$

$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleración
$\phi_p$ y $\phi_e$	Factores de irregularidad en planta y elevación
$I$	Coefficiente de importancia
$R$	Factor de reducción de resistencia sísmica
$V$	Cortante basal total de diseño
$W$	Carga sísmica reactiva
$T_a$	Período de vibración

$$\frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_e} = 0,2149$$

El peso de la estructura es de  $W = 4260,11 \text{ kN}$

Teniendo así un cortante basal de

$$V = 0,2149 * 4260,11$$

$$V = 915,64 \text{ kN}$$

Para poder terminar con el proceso de cargas sísmica se debe calcular las cargas laterales perteneciente a cada piso de la estructura.

Por lo cual es necesario el cálculo de las fuerzas sísmicas laterales. El código NEC-SE-DS, pone a disposición la siguiente ecuación para su cálculo.

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} * V \quad (9)$$

La Tabla 19 muestra los parámetros utilizados para efectuar el cálculo del cortante basal.

**Tabla 18**

*Coefficientes para el cortante basal para el bloque 2\_3 de la UE1*

Parámetro	Terminología	Valor	Unidad	Observación
Porcentaje de cortante basal	% V	21,49	%	-
Carga sísmica Reactiva	W	4260,11	kN	-
Cortante Basal	V	915,50	kN	%V x W

*Nota: Tabla resumen para la elaboración del cortante basal*

En la siguiente sección, se presentarán en detalle los resultados correspondientes a las cargas laterales.

**Tabla 19**

*Tabla para el cálculo de las cargas laterales presentadas en el bloque 2\_3 de la UE1*

Piso #	Wi [Kn]	hi [m]	wi*hi [Kn.m]	Fi [Kn]
1	1504,81	3,26	4905,68	<b>171,80</b>
2	1504,81	6,32	9510,40	<b>333,06</b>
3	1250,48	9,38	11729,50	<b>410,78</b>
Σ	4260,10	Σ	26145,58	

*Nota: Tabla resumen para la determinación de las cargas laterales*



### Combinaciones de cargas

Al ser este proyecto una evaluación de una estructura existente se selecciona la combinación de cargas indicadas por la normativa ecuatoriana NEC-SE-RE, esto con el fin de generar los efectos más desfavorables en la estructura, todo esto en concordancia con el análisis de cargas propuesto anteriormente siguiendo los lineamientos de las normativas NEC-SE-CG y NEC-SE-DS para la estimación de cargas gravitacionales y laterales (MIDUVI, 2014).

$$1,1(D + 0,25L) + E \quad (10)$$

<i>D</i>	<i>Carga total muerta</i>
<i>E</i>	<i>Efectos de las fuerzas sísmicas</i>
<i>L</i>	<i>Sobrecarga en función carga viva</i>

### Resumen

En el siguiente apartado, se presenta una tabla resumen con las cargas permanentes consideradas para el bloque 2\_3 de la unidad educativa 1, utilizando la combinación requerida para el análisis de la edificación. Es necesario agregar a los valores presentados a continuación el aporte de la carga lateral debido al efecto sísmico y la carga viva.

**Tabla 20**

*Sumatoria de cargas actuantes en el bloque de análisis de la UE1*

<b>CARGA ÚLTIMA POR PISO</b>	
<b>Primer Piso</b>	
<i>Sismo</i>	0,47 kN/m <sup>2</sup>
<i>Carga última aulas</i>	9,30 kN/m <sup>2</sup>
<i>Carga última corredor</i>	10,54 kN/m <sup>2</sup>
<b>Pisos intermedios</b>	
<i>Sismo</i>	0,47 kN/m <sup>2</sup>
<i>Carga última aulas</i>	9,30 kN/m <sup>2</sup>
<i>Carga última corredor</i>	10,32 kN/m <sup>2</sup>
<b>Cubierta</b>	
<i>Sismo</i>	0,56 kN/m <sup>2</sup>
<i>Carga última</i>	8,27 kN/m <sup>2</sup>

*Nota:* Tabla que detalla las cargas últimas por piso al bloque 2\_3.

## Ensayos no destructivos

Se contemplaron dos tipos de ensayos no destructivos con el fin de corroborar que todas las especificaciones técnicas definidas en los planos estructurales sean las correctas.

### ***Pachómetro***

Este ensayo se lo realizó en varios elementos estructurales, estos son columnas y vigas, con ello se verificó la cantidad de refuerzo longitudinal de acero que comprende cada elemento estructural como también el espaciamiento del refuerzo transversal.

### **Figura 25**

*Evidencia del ensayo del Pachómetro en la UE1*



*Nota:* Evidencia de la realización del ensayo del pachómetro en una columna.

### **Resultados**

Después de analizar todos los elementos estructurales con el Pachómetro y comparándolos con los elementos del plano estructural se llegó a la conclusión que no existió ningún tipo de cambio de cantidad ni espaciamiento en la armadura de la estructura, con la excepción de que los recubrimientos son de 2,5 cm y no de 3,5 cm como se detallaba en los planos.

### Esclerómetro

Igualmente, para el ensayo del esclerómetro se lo realizó en diferentes columnas de los diferentes pisos de la estructura. Se tomó una muestra de 16 golpes en función de la matriz.

**Figura 26**

*Evidencia del ensayo del esclerómetro en la UE1*



*Nota:* Evidencia de la realización del ensayo del esclerómetro en la columna circular.

### Resultados

En el siguiente apartado se presentan los registros de los golpes que detalla el número de rebote, con esto se procede al tratamiento de los datos para poder reducir el margen de error.

**Tabla 21**

*Registro de rebotes por golpe*

Golpe	Rebote con martillo N (RN) en posición A									
	COLUMNAS									
	K12	J12	L11	10I	10J	10K	10 L	9L	9K	9K
1	40	36	40	49	39	36	38	36	44	46
2	34	36	40	45	41	52	38	40	48	40
3	32	34	38	44	40	36	40	18	48	42
4	36	42	32	40	47	42	38	46	44	48
5	34	42	40	47	41	42	42	40	44	40
6	38	28	40	45	46	34	42	44	42	42
7	32	46	48	46	52	39	38	44	44	48
8	34	40	35	46	44	36	39	44	44	38
9	42	34	44	41	47	46	38	40	46	48

<b>10</b>	36	40	44	49	42	40	36	32	46	44
<b>11</b>	34	34	38	45	46	44	32	40	38	44
<b>12</b>	36	34	36	38	43	40	44	44	48	46
<b>13</b>	40	34	40	44	48	42	46	38	38	42
<b>14</b>	38	40	48	46	46	44	42	42	48	44
<b>15</b>	38	36	45	43	41	35	40	36	44	40
<b>16</b>	40	36	32	38	41	40	46	42	44	42
Promedio	37	37	40	44	44	40	40	40	44	43

*Nota:* Registro de rebotes por golpe, donde se detallan con azul el valor menor y con rojo el mayor.

$$\text{Promedio de rebote} = \frac{37 + 37,4 + 39,1 + 44,1 + 45 + 39,7 + 39,6 + 40 + 43,5 + 42,7}{10}$$

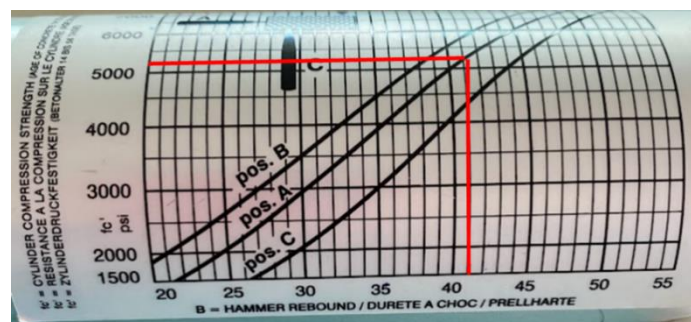
$$\text{Promedio de rebote} = 41$$

Después de obtener el promedio de rebote se traza una línea perpendicular hasta la línea que corresponde a la posición en la cual fueron tomados los datos, como el ensayo se lo realizó perpendicularmente a los elementos estructurales se definió como posición A y con ello, lograr establecer la resistencia a la compresión del hormigón  $f'_c$ .

En el siguiente apartado, se presenta el cálculo para determinar la resistencia a la compresión del hormigón  $f'_c$  mediante el gráfico de correlación del martillo Schmidt.

### Figura 27

*Promedio rebote vs resistencia a la compresión*



*Nota:* Cálculo de la resistencia a la compresión mediante el gráfico de correlación del martillo Schmidt.

Teniendo así una resistencia del ensayo de 5120 psi, que equivale a 360 kg/cm<sup>2</sup>. Calcular la resistencia del hormigón después de un periodo de tiempo, variará dependiendo de varios factores, como lo son, confiabilidad del aparato, edad del concreto o también la carbonatación.

El concreto es un material poroso y proceso de carbonatación comienza cuando el CO<sub>2</sub> se filtra de la atmósfera con la humedad. Luego, el hidróxido se une al carbono, lo que reduce el pH a menos de 9 y convierte el medio en un ácido, eliminando la protección contra incendios de la armadura y acelerando el proceso de oxidación (INGENIEROS ASESORES, 2018) .

En la Tabla 22 se detallan los factores de corrección por carbonatación dependiendo a la profundidad del recubrimiento.

**Tabla 22**

*Factor de corrección de carbonatación*

Profundidad de Carbonatación (cm) a partir de la cara externa	Factor de corrección
0,5	0,97
1,0	0,94
1,5	0,90
2,0	0,87
2,5	0,84
3,0	0,80
3,5	0,78
4,0	0,74
4,5	0,72
5,0	0,68
5,5	0,65
6 o mayor	0,62

*Nota:* Obtenido de *Resistencia del hormigón mediante esclerómetro, ensayo y valor Fc*, por (Fernández, 2013)

Al considerar una profundidad de carbonatación de 2,5 cm, nuestro factor de corrección es de 0,84.

$$f'c = \text{valor esclerómetro} * \text{factor de corrección} \quad (11)$$

$$f'c = 360 \frac{kg}{cm^2} * 0,84 = 302 \frac{kg}{cm^2}$$

Se toma un  $f'c$  de 300  $kg/cm^2$  para los futuros análisis.

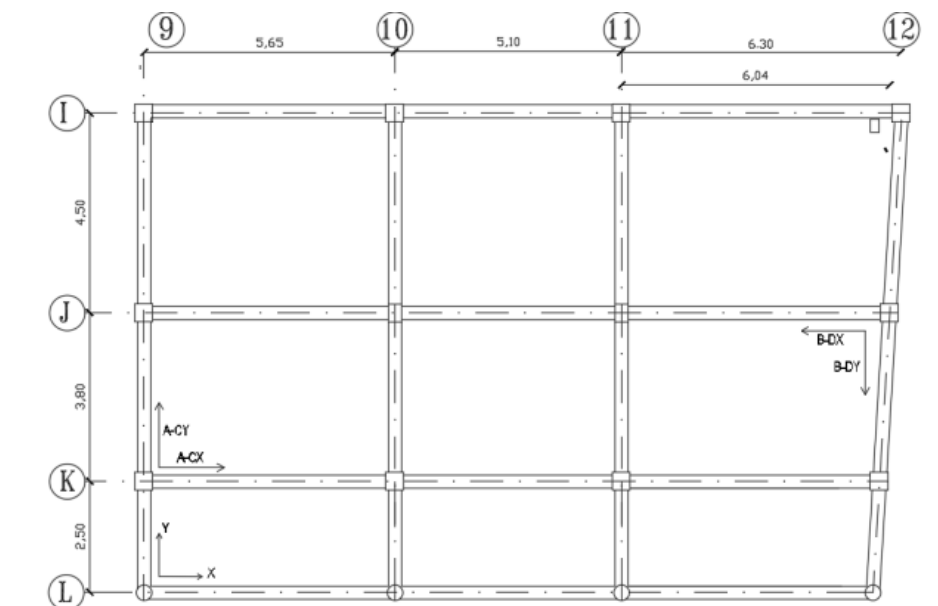
### Instrumentación

La instrumentación se realizó en una sola configuración colocando los sensores en el segundo y tercer piso. El segundo piso está conformado por los sensores denominados A y B y en el tercer piso se encuentran los sensores C y D.

A continuación, en la figura 28, se detalla las ubicaciones de los sensores en planta y los ejes referenciales para el proceso.

### Figura 28

Ubicación de los equipos en el piso 2 y ejes asumidos.



*Nota:* Vista en planta donde se detallan la ubicación de los sensores y sus ejes.

## Capítulo 5

### Modelamiento y Análisis de la Unidad Educativa 1

En el siguiente apartado se especifican la mayoría de consideraciones para poder modelar la estructura en el software SeismoStruct, así como los objetivos de desempeño y los parámetros de demanda para sus respectivos análisis estático y no lineal estático adaptativo (Pushover).

#### Consideraciones del modelo en SeismoStruct

##### Material

- *Hormigón en vigas*  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- *Hormigón en columnas*  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$
- *Bloque de mampostería*  $f'c = 35,70 \text{ kg/cm}^2$
- *Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo*  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

##### Secciones

En el siguiente apartado se detalla el nombre de las secciones utilizadas en el programa SeismoStruct con sus respectivos tipos y dimensiones:

**Tabla 23**

*Secciones de elementos estructurales: vigas y columnas*

Nombre	Tipo	Dimensiones	Nombre	Tipo	Dimensiones
CK9J9	rccs	35	V9JI1	rcrs	30x30
CK1011	rcrs	40x40	V9JI3	rcrs	30x30
CJ1011	rcrs	40x40	V10JI3	rcrs	40x30
CI912	rcrs	40x40	VL1	rcrs	40x30
V9LK1	rcrs	40x40	VL3ext1	rcrs	40x30
V9LK3	rcrs	30x40	VL3ext2	rcrs	40x30
V10LK1	rcrs	30x40	VK1	rcrs	40x30
V10LK3	rcrs	40x40	VK3ext1	rcrs	40x30

V9KJ1	rcrs	40x40	VK3ext2	rcrs	40x30
V9KJ2	rcrs	30x30	1VJ910	rcrs	40x30
V9KJ3	rcrs	30x30	1VJ1011	rcrs	40x30
V10KJ1	rcrs	30x30	VJ3910	rcrs	40x30
V10KJ3	rcrs	30x30	VJ31011	rcrs	40x30

---

Abreviatura

---

Rccs	Sección circular de hormigón armado
Rcrs	Sección rectangular de hormigón armado
C	Columnas
V	Vigas

---

*Nota:* Dimensiones consideradas en centímetros

**Secciones de mampostería.** El software SeismoStruct considera a la mampostería como un elemento no estructural y lo denomina como paneles infill o de relleno, este elemento se utiliza como un modelo equivalente para la creación de paredes y su configuración se base a través de su rigidez y dimensiones (Seismosoft, 2021).

### **Análisis de cargas**

Además, el programa considera el término “carga” como como todo tipo de fuerza que puede llegar a ser aplicada a la estructura, estas se pueden relacionar como fuerzas, desplazamientos y/o aceleraciones. Después de tener definida la geometría del bloque de estudio de la unidad educativa 1, se empieza con precisar el peso propio de la estructura y que tipo de cargas soporta. El programa define diferentes tipos de cargas por lo que se debe tener en claro qué se quiere implementar al modelo.

**Cargas permanentes.** Este tipo de cargas son consideradas estáticas las cuales se encuentran aplicadas sobre la estructura de forma permanente, estas se encuentran conformadas por las fuerzas del peso propio de los elementos o desplazamientos prescritos (Seismosoft, 2021).

Si no se tiene un cálculo de los pesos de los elementos, el programa facilita este proceso y define el peso dependiendo sus secciones y materiales.



**Cargas temporales.** El software no contiene un espacio claro para la definición de las cargas temporales, por lo tanto, este tipo de cargas se las suma a las cargas permanentes, especificadas en la Tabla 16. Adicionalmente en el Anexo 1 se encuentra el cálculo de cargas aplicadas a cada elemento en el modelo.

**Cargas incrementales.** El análisis que se realizará a los bloques de estudio de cada unidad educativa son de tipo Pushover, por lo tanto, es indispensable el empleo de cargas incrementales para su cálculo.

Las cargas incrementales son del tipo pseudo estático puesto que aumentan de manera incremental. La magnitud de la carga en cualquier paso del análisis puede ser definido por el usuario, así como el factor de carga. Para el análisis del bloque 2\_3 se agregó cargas a los nodos de tipo fuerza, con un factor de carga de 1, las direcciones de análisis dependerán del sentido de estudio deseado (Seismosoft, 2021).

**Fases de cargas - Loading phases.** La selección de tipo de fase depende del análisis que desea ser estudiado, en este caso se toma como ejemplo el control de respuesta adaptativo. Este tipo de esquema consiste en el control de respuesta de un nodo seleccionado de la estructura, el cual se lo denominará nodo de control, una recomendación que nos especifica el manual del Software es que este nodo no debe estar cargado bajo ninguna carga incremental.

Es importante recalcar que se debe especificar la cantidad de subdivisiones deseadas del objetivo de desplazamiento seleccionado. Para este caso de estudio, esta información es proporcionada por la tabla 24 en la sección pasos. El análisis alcanza su fase final al momento de alcanzar el objetivo seleccionado o en caso que las cargas incrementales hayan provocado el colapso de la estructura.

#### **Tabla 24**

*Valores definidos en el módulo fase de control de la respuesta*

<b>FASES DE CARGA</b>	
<b>Fase Tipo</b>	<b>Respuesta de control Adaptativo</b>
Pasos	60
Nombre Nodo	N130J
Dirección	X
Desplazamiento máximo	0,3 m

*Nota:* Datos de fases de carga introducidos en el software.

### **Espectro de diseño**

El espectro de respuesta se puede definir con ayuda del programa SeismoStruct, esto se debe a que tiene cargado diferentes códigos estructurales de varios países y uno de ellos es la Normativa (NEC-2015). El programa solo necesita pocos datos para la creación del espectro de respuesta y estos son: la zona sísmica, tipo de suelo y el factor de amplificación. El valor del factor Z se define automáticamente dependiendo a la zona sísmica.

A continuación, se presentan los valores que se implementaron al programa para el diseño del espectro en la tabla 25 mientras que en la figura 29 se encuentra el espectro final de diseño conjuntamente con el máximo sismo considerado.

### **Tabla 25**

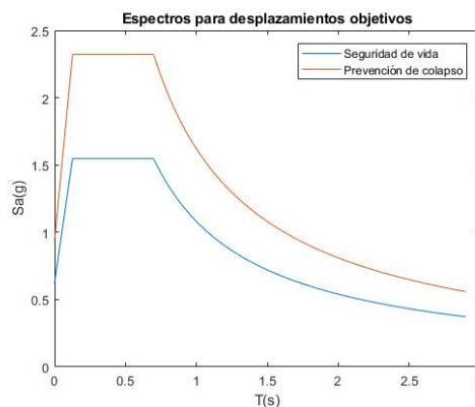
*Valores para el diseño del espectro de respuesta*

Zona sísmica	V
Valor factor Z	0,4
Tipo de Suelo	D
Factor de amplificación [m]	2,48

*Nota:* Factores tomados de la normativa NEC-SE-DS (MIDUVI, 2014).

### **Figura 29**

*Espectros finales de diseño*



*Nota:* Espectros de diseño y máximo considerado (1,5 veces mayor).

### Objetivos de desempeño

Los objetivos de desempeño seleccionados para el bloque 2\_3 de la UE1, fueron nivel de seguridad (3-C) con una acción sísmica BSE-1 y prevención de colapso (5-D) con una acción sísmica BSE-2.

El propósito de esta selección de objetivo es forzar a la estructura al peor caso posible y estudiar su comportamiento, con el fin de observar su resiliencia.

**Tabla 26**

### Objetivos de desempeño

ASCE 41-13. Tabla C2-2		Niveles objetivos de Desempeño Esperados en el Edificio			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)
NIVEL DE TERREMOTO	50%/50 años	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
	20%/50 años	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
	BSE-1 (10%/50 años)	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>
	BSE-2 (2%/ 50 años)	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>

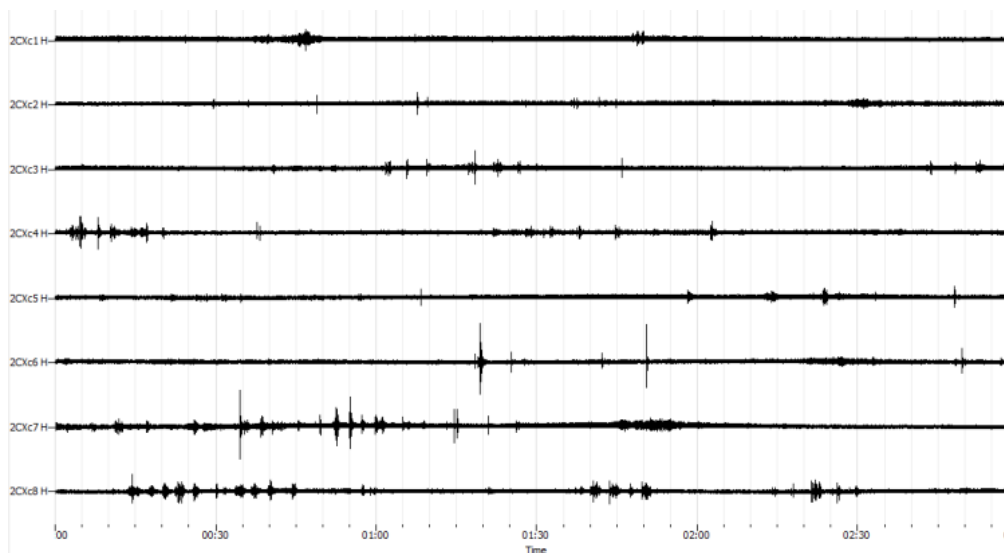
*Nota:* Tomado de “NEC-SE-RE” (MIDUVI, 2014).

### **Procesamiento de datos**

**Selección de datos.** Luego de haber obtenido las lecturas de los acelerómetros se debe realizar el proceso de selección, este proceso consiste que con la ayuda del software Geopsy se verifica cuál de todas las lecturas tiene el registro con menor ruido ambiental posible (Ej: Sonido de vehículos, personas caminando) obteniendo así lecturas que marcan la línea base para el procesamiento de datos en MATLAB. Este proceso se realizó seleccionando dos sensores de referencia y manejando sus datos para una correcta interpretación visual. A continuación, en la figura 30, se presentan las aceleraciones obtenidas por los sensores en sentido X del punto CX colocados en el tercer piso.

**Figura 30**

*Proceso de selección sentido x en Geopsy-CX*

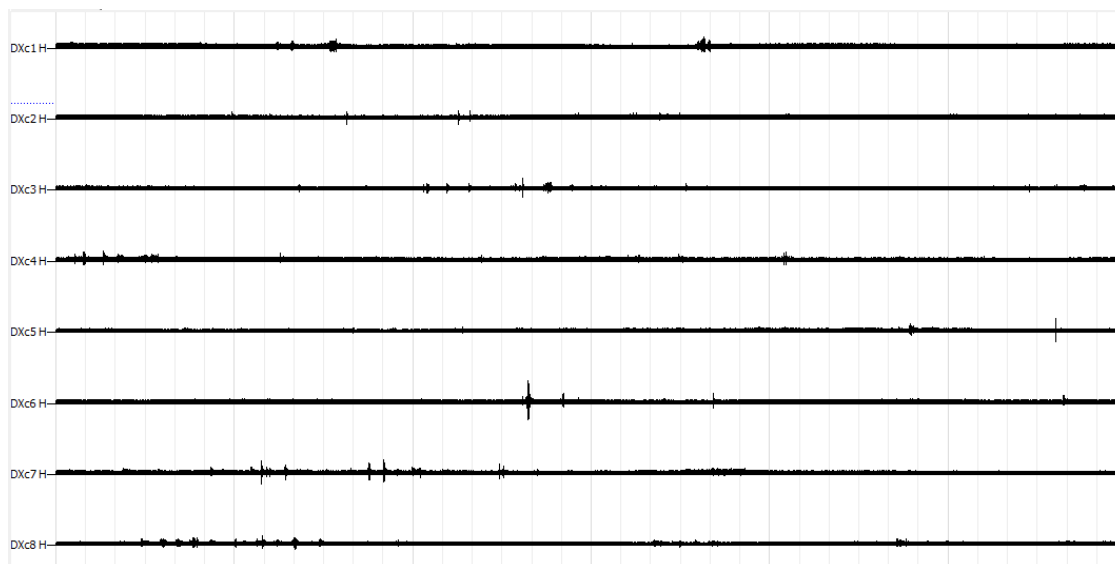


*Nota:* Señales obtenidas en campo mediante el proceso de instrumentación, sensor CX.

Por otro lado, la figura 31 presenta los resultados de un segundo sensor colocado en la segunda dirección principal de la estructura, es decir en sentido Y. el sensor seleccionado fue el sensor DY ubicado en el tercer piso.

**Figura 31**

*Proceso de selección sentido y en Geopsy-DY*



*Nota:* Señales obtenidas en campo mediante el proceso de instrumentación, sensor DY.

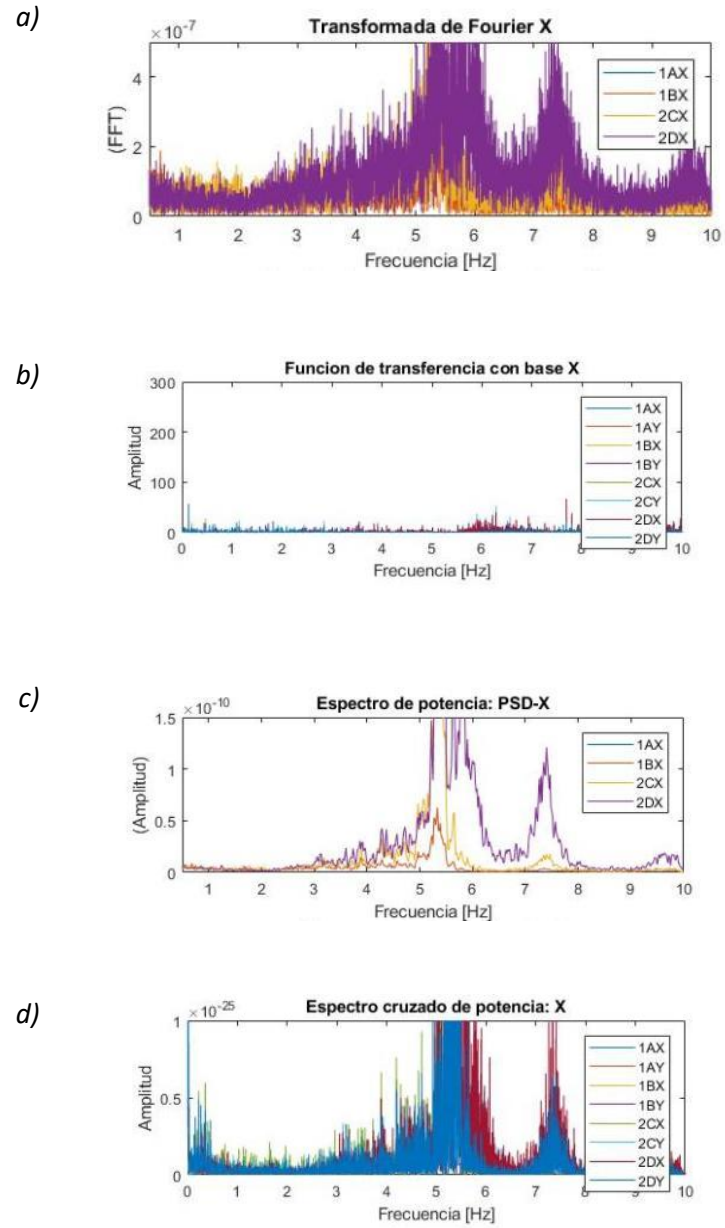
Como se puede observar las lecturas 2,3 y 5 de los dos sentidos, son los que presentan menor ruido ambiental.

### **Software MATLAB**

Teniendo definida cuales fueron las mejores lecturas se comienza con el procesamiento de datos en el software MATLAB. En primer lugar, se debe aplicar un filtro a las señales, mismas que posteriormente se convertirán en herramientas como función de transferencia (TF), ventaneo, transformada de Fourier, densidad de potencia espectral (PSD) y espectro cruzado de potencia (CPS) (Arcentales & Yépez, 2020). En la figura 32 se presentan las herramientas de identificación en sentido X y en la figura 33 en el sentido Y.

**Figura 32**

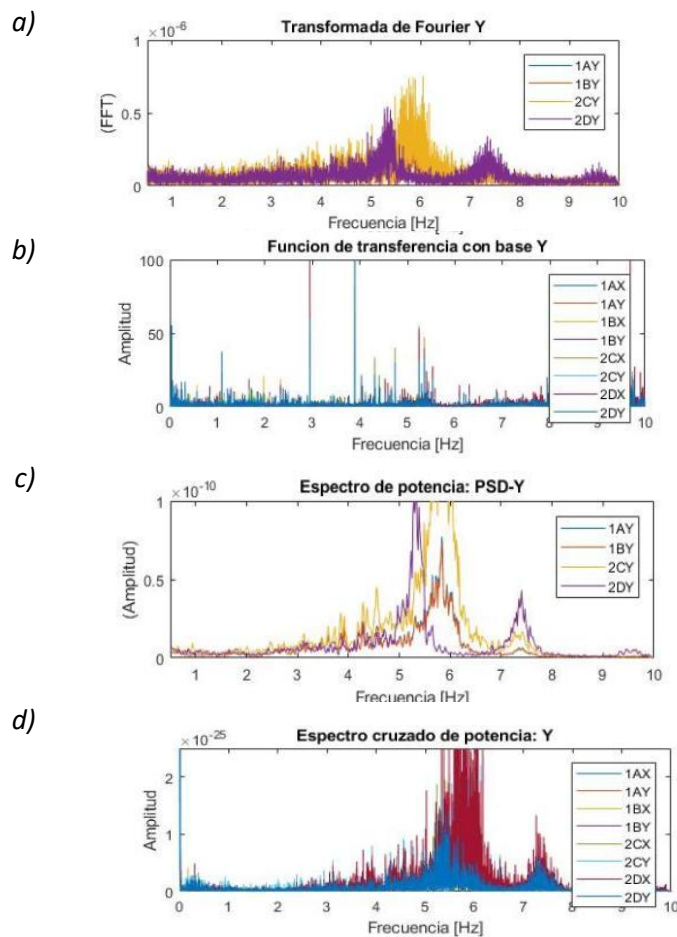
*Herramientas de identificación en sentido "X"*



*Nota:* a) Transformada de Fourier en sentido X, b) Función de transferencia con base X, c) Espectro de potencia en X, d) Espectro cruzado de potencia en X.

### Figura 33

*Herramientas de identificación en sentido “Y”*



*Nota:* a) Transformada de Fourier en sentido Y, b) Función de transferencia con base Y, c) Espectro de potencia en Y, d) Espectro cruzado de potencia en Y.

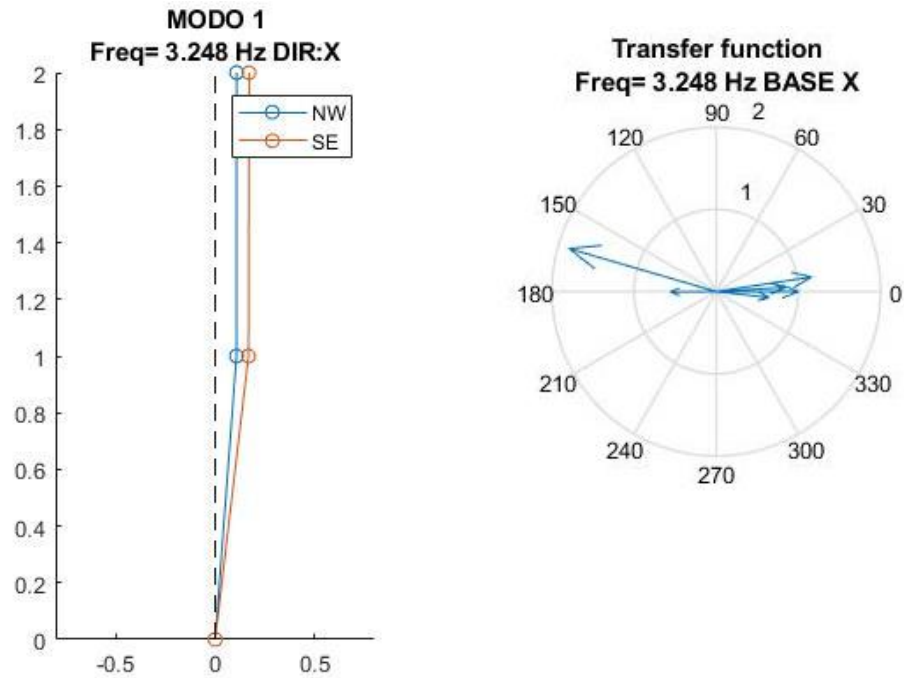
Una vez identificados y señaladas las frecuencias comunes y características pertenecientes a los picos en las diferentes herramientas de identificación se procede a una selección manual y minuciosa mediante la función compass. La herramienta en mención permite verificar que cada configuración de los diferentes ángulos de desfase de los vectores correspondientes a la parte irreal del cálculo función de transferencia se encuentre en fase a partir de los cuales y mediante el método SRSS se obtienen los modos de vibrar de los pisos instrumentados.

### **Modos de vibración.**

En las figuras 34, 35 y 36 se representan los tres primeros modos del bloque 2\_3 de la unidad educativa 1 con su respectiva herramienta compass como verificación de fase de señales.

**Figura 34**

*Primer modo de vibración y verificación de fase*

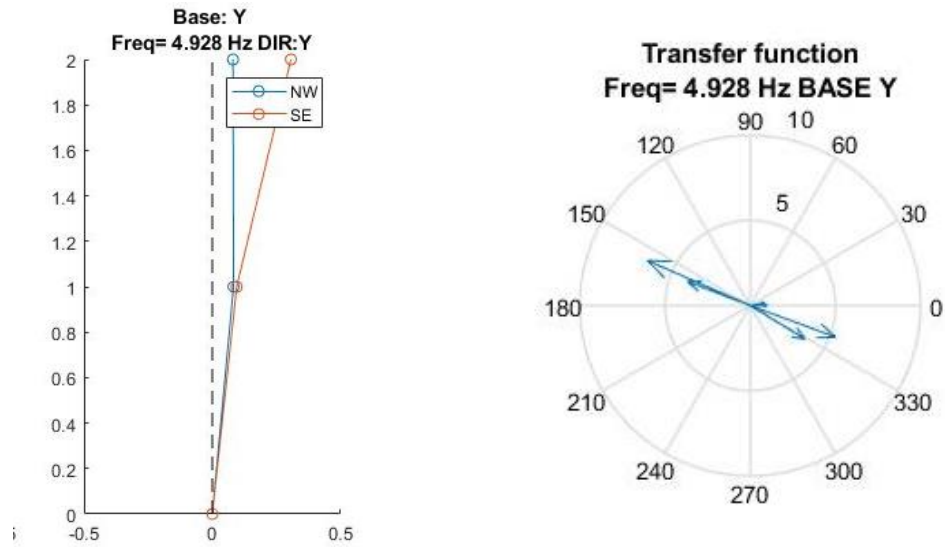


*Nota:* Primer modo de vibración en sentido X y verificación de ángulos de fase.

**Figura 35**

*Segundo modo de vibración y verificación de fase*

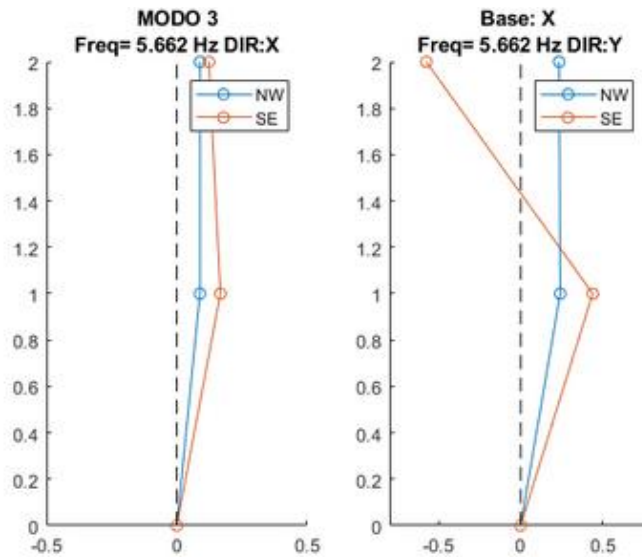


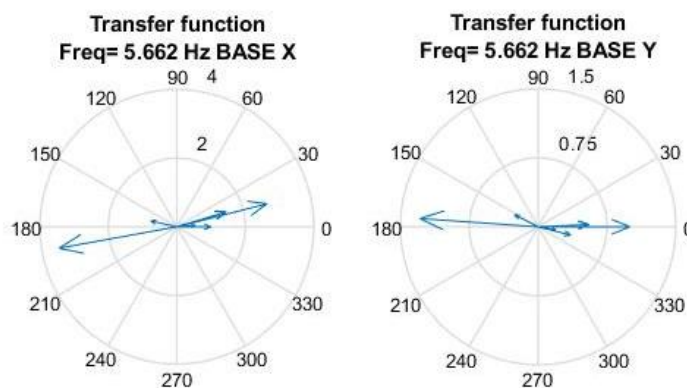


*Nota:* Segundo modo de vibración en sentido Y y verificación de ángulos de fase.

**Figura 36**

*Tercer modo de vibración y verificación de fase*





*Nota:* Tercer modo de vibración torsional y verificación de ángulos de fase en dos sentidos.

De esta forma se determinan los tres primeros modos de vibración del bloque de estudio, cuyos valores se resumen en la Tabla 27.

### Comparación con el modelo

La tabla 27 presenta una comparación entre los datos obtenidos en los ensayos de vibración ambiental y el modelo equivalente calibrado.

**Tabla 27**

*Modos de vibración representados en frecuencia y período*

<b>Modelo Calibrado</b>			<b>Ensayo vibración ambiental</b>		
<i>Modo</i>	<i>Periodo (seg)</i>	<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>Modo</i>	<i>Periodo (seg)</i>	<i>Frecuencia (Hz)</i>
1	0,294	3,399	1	0,308	3,248
2	0,202	4,944	2	0,203	4,928
3	0,172	5,816	3	0,177	5,662

*Nota:* Datos obtenidos en ensayo de vibración ambiental vs análisis modal en software.

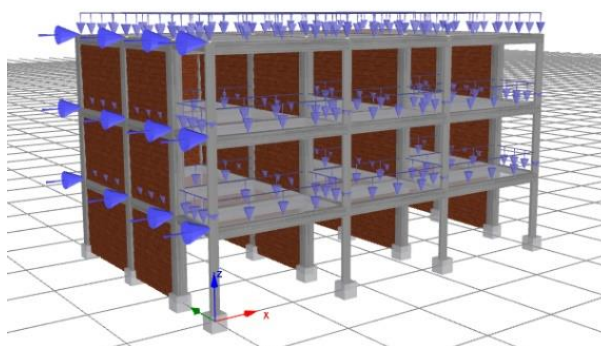
## Resultados

### *Análisis no lineal estático adaptativo (Pushover) basado en fuerzas*

A continuación, en la figura 37 se pueden encontrar la distribución de cargas nodales para el Pushover adaptativo, mientras en la figura 38 se encuentra la respectiva curva de capacidad para esta distribución.

#### Figura 37

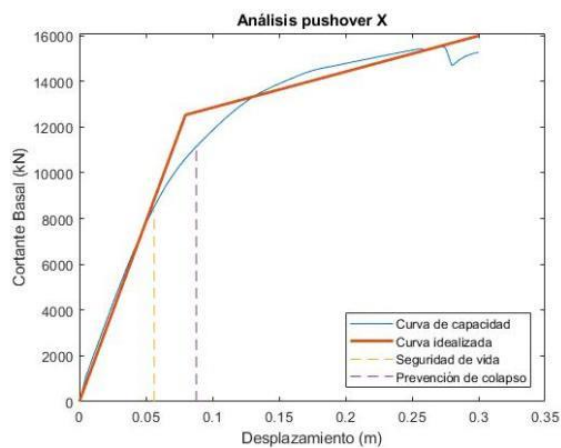
*Distribución de cargas laterales Pushover adaptativo en sentido X*



*Nota:* Cargas incrementales aplicadas en el sentido deseado.

#### Figura 38

*Curva de capacidad del bloque 2\_3 en sentido X*

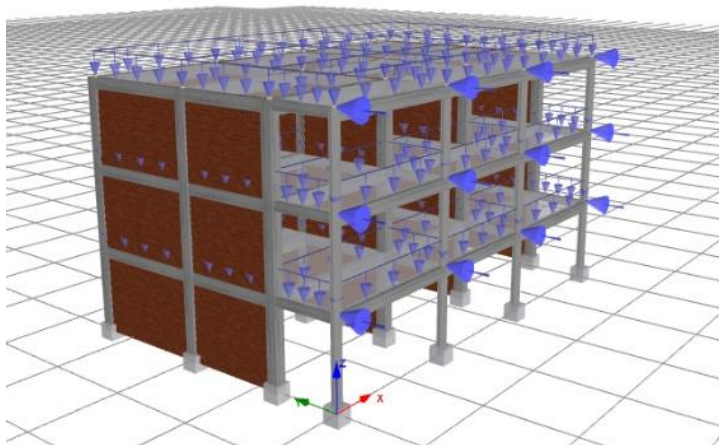


*Nota:* Curva de capacidad y objetivos de desempeño calculados en el sentido X.

De la misma manera en la figura 39, se presenta la distribución de cargas nodales y en la figura 40 se puede encontrar la curva de capacidad de la estructura en sentido Y.

**Figura 39**

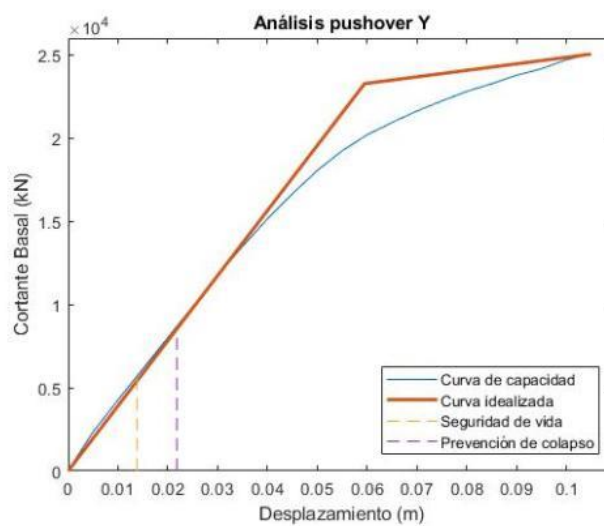
*Distribución de cargas laterales Pushover adaptativo en sentido Y*



*Nota:* Cargas incrementales aplicadas en el sentido deseado.

**Figura 40**

*Curva de capacidad de la estructura en sentido Y*



*Nota:* Curva de capacidad y objetivos de desempeño calculados en el sentido Y.

### Resultados de los análisis

Considerando los resultados de los análisis, es posible afirmar que el lado “Y” de la estructura es el más crítico por efectos de torsión con un desplazamiento máximo de 0,11 m antes de la pérdida de convergencia del modelo. Cabe destacar, que ambos sentidos cumplen con los desplazamientos objetivos tanto como para seguridad de vida y prevención de colapso, lo cual lleva a una conclusión preliminar, que la estructura soporta el máximo sismo considerado sin colapsar.

### **Determinación de Tiempo de recuperación**

#### **PACT**

De acuerdo a la metodología presentada en la FEMA P-58 es necesario una descripción completa de la estructura para empezar su evaluación de desempeño. Dado a este caso, los datos requeridos por la herramienta electrónica PACT como parte de la Información elemental de la estructura son presentados en la tabla 28.

**Tabla 28**

*Información elemental de la estructura para análisis de tiempo de recuperación*

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Observación</b>
Número de pisos	3	3 pisos, 1 terraza
Tiempo de Reemplazo	6 meses	
Máximo de Trabajores por Pie Cuadrado	0,01	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Umbral de Pérdida Total	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Area de Nivel +0,00	189,17	m <sup>2</sup>
Area de Nivel +3,24	189,17	m <sup>2</sup>
Area de Nivel +6,30	189,17	m <sup>2</sup>
Area de Nivel +9,36	189,17	m <sup>2</sup>
Altura del primer piso	3,24	m
Altura de entrepiso	3,06	m
Factor de Altura	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de Materiales Peligrosos	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de ocupación	1,1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.9

Tipo de ocupación	Unidad Educativa	Modelo poblacional
-------------------	------------------	--------------------

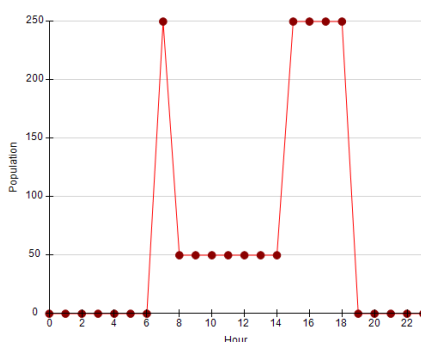
*Nota:* Valores complementarios tomados de (FEMA P58-1, 2018).

### **Modelo Poblacional**

El modelo poblacional para la estructura de estudio se denomina “Education (k-12): Elementary Schools”, este modelo según la metodología FEMA P-58 se define para escuelas y colegios (FEMA, 2018). Para el presente análisis se ha considerado un máximo de 50 personas por cada 1000 pies cuadrados (92,90 m<sup>2</sup>). La figura 41 representa de manera gráfica la distribución horaria de la ocupación durante un día.

### **Figura 41**

#### *Distribución horaria de la población*



*Nota:* Gráfica recuperada del programa PACT (FEMA, 2018).

### **Grupos de Fragilidades**

La FEMA P-58 en su base de datos presenta diferentes grupos de fragilidad dependiendo del tipo de material, como también a las partes que representa la estructura. Para el siguiente análisis se utilizaron los siguientes grupos de fragilidades tomadas de (FEMA, 2018):

- B104: Elementos de concreto reforzado
  - B1041.002a: ACI-318 SMF Conc Col & Bm = 24" x 24". Beam one side
  - B1041.002b: ACI-318 SMF Conc Col & Bm = 24" x 36". Beam both sides

- B105: Elementos verticales de mampostería
  - B1051.001: Ordinary reinforced masonry walls with partially grouted cells, shear dominate, 4" to 6" thick. Up to 12 foot tall
- B202: Sistemas de ventanas exteriores
  - B2022.001: Curtain wall-generic midrise Stick-Built Curtain wall
- B304
  - B3041.001: Masonry Parapet – unreinforced, unbraced
- C303: Techos e iluminación de techo
  - C3034.001: Independent Pendant Lighting – non seismic

### Grupo de desempeño

Los grupos de desempeño presentados en la tabla 29 fueron distribuidos a partir de la metodología seleccionada y corresponden al bloque 2\_3 de la Unidad Educativa 1.

**Tabla 29**

### Grupos de desempeño del bloque 2\_3

<b>GRUPOS DE DESEMPEÑO BLOQUE 2_3 UNIDAD EDUCATIVA 1</b>							
<b>Piso:</b>	<b>1</b>	<b>Education (k-12): Elementary Schools</b>		<b>Piso:</b>	<b>2</b>	<b>Education (k-12): Elementary Schools</b>	
Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D
<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>			
B1041.002a	Each	8	SDR	B1041.002a	Each	8	SDR
B1041.002b	Each	8	SDR	B1041.002b	Each	8	SDR
B1051.001	Each	3	SDR	B1051.001	Each	3	SDR
B2022.001	Each	3	SDR	B2022.001	Each	3	SDR
<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>			
B1041.002a	Each	8	SDR	B1041.002a	Each	8	SDR
B1041.002b	Each	8	SDR	B1041.002b	Each	8	SDR
B1051.001	Each	8	SDR	B1051.001	Each	8	SDR
<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>			
C3034.001	Each	12	ACC	B3041.001	Each	4	ACC
				C3034.001	Each	12	ACC
<b>Abreviaturas:</b>							
P.D.:	Parámetro de demanda						
SDR:	Story Drift Ratio						
ACC:	Acceleration						
* Se trabaja con el modelo poblacional "Education (k-12): Elementary Schools" propuesto por el FEMA P-58							

<b>GRUPOS DE DESEMPEÑO BLOQUE 2_3 UNIDAD EDUCATIVA 1</b>							
<b>Piso:</b>	<b>3</b>	<b>Education (k-12): Elementary Schools</b>		<b>Piso:</b>	<b>Terraza</b>	<b>Education (k-12): Elementary Schools</b>	
Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D
<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>			
B1041.002a	Each	8	SDR	NO APLICA			
B1041.002b	Each	8	SDR				
B1051.001	Each	3	SDR				
B2022.001	Each	3	SDR				
<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>			
B1041.002a	Each	8	SDR	NO APLICA			
B1041.002b	Each	8	SDR				
B1051.001	Each	8	SDR				
<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>			
B3041.001	Each	4	ACC	B3041.001	Each	7	ACC
C3034.001	Each	12	ACC				
Abreviaturas:							
P.D.:	Parámetro de demanda			* Se trabaja con el modelo poblacional "Education (k-12): Elementary Schools" propuesto por el FEMA P-58			
SDR:	Story Drift Ratio						
ACC:	Acceleration						

*Nota:* La cantidad de elementos fue contabilizada de manera manual.

### **Curva de fragilidad**

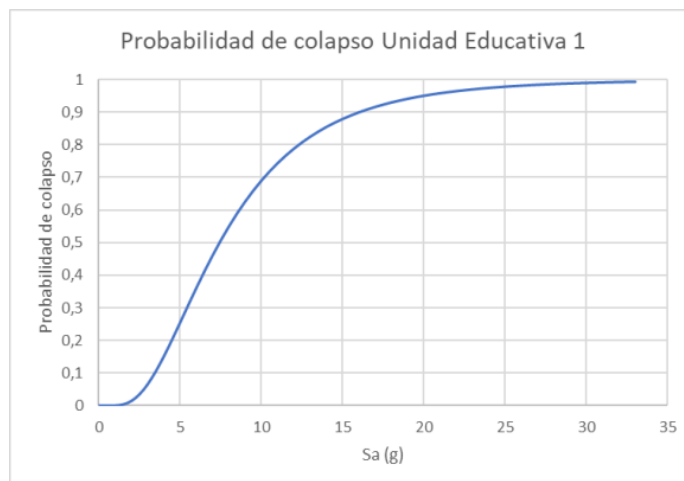
Una vez obtenido los resultados del análisis estático no lineal adaptativo, la curva de capacidad se introduce en la herramienta electrónica SPO2IDA provista por el FEMA P-58 V-3, para transformar los resultados a un aproximado de un análisis incremental dinámico.

Esta herramienta electrónica calcula la aceleración media de colapso para este caso es de 7,42 g, la cual es asignada a una dispersión de 0,6, estos resultados permiten calcular la curva de fragilidad de la estructura, misma que se aprecia en la figura 42 (FEMA P58-1, 2018).

### **Figura 42**

*Curva de fragilidad de la estructura*





*Nota:* Esta curva presenta una forma de distribución normal.

### **Modos de colapso**

Los modos de colapso se pueden fragmentar de varias formas, como pueden ser el colapso local de uno o varios pisos, o el colapso total de la edificación. Cada uno de los modos determinados para la estructura es determinada bajo su respectiva probabilidad de ocurrencia (Untuña, 2021). Para la presente estructura se consideró un único modo de colapso el cual representa el colapso total de la estructura y nuestra probabilidad de ocurrencia es 1 que representa el 100%.

**Tabla 30**

*Grupos de desempeño del bloque 2\_3*

<i>Consecuencias del colapso</i>				
<b>Piso</b>	<b>Tasa de mortalidad Media</b>	<b>Tasa de mortalidad COV</b>	<b>Tasa de lesiones Media</b>	<b>Tasa de lesiones COV</b>
3	1	0,5	1	0,5
2	1	0,5	1	0,5
1	1	0,5	1	0,5

*Nota:* Los valores referenciales se tomaron de (FEMA, 2018).

### **Resultados del análisis estructural**

Finalmente es necesario realizar un análisis lineal estático con las fuerzas aproximadas del cortante basal para así obtener las derivas del piso y corregirlas en base de las fórmulas presentadas en el código ASCE 41-17. La tabla 31 muestra un resumen de los resultados obtenidos en el análisis estático.

**Tabla 31**

#### *Resultados del análisis estático*

<i>Resultados análisis estático</i>			
<b>Piso</b>	<b>Deriva de piso-X</b>	<b>Deriva de piso-Y</b>	<b>Aceleración (g)</b>
Terraza	N/A	N/A	2,531183724
3	0,00277644	0,01244332	2,563662931
2	0,00334076	0,01483966	2,596589000
1	0,00334076	0,01845023	1,550000000
Dispersión	0,255	0,255	0,269

*Nota:* Resultados de análisis lineal estático del software SeismoStruct.

Para el presente análisis no se consideró el cálculo de la deriva residual en la determinación del tiempo de recuperación de la estructura.

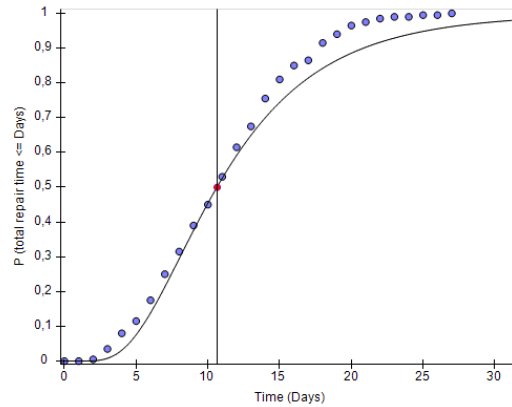
### **Resultados**

#### **Resultados herramienta PACT**

La herramienta PACT presenta distintos cálculos, uno de ellos es la secuencia y evaluación del desempeño de la estructura en función del tiempo y costo, el cual se utilizará para el siguiente estudio. La figura 43 representa la curva de probabilidad de un tiempo de recuperación para sus respectivos grupos de fragilidad. El tiempo considerado está basado en la hipótesis que las reparaciones se realizan paralelamente en todos los niveles de la estructura.

**Figura 43**

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio*

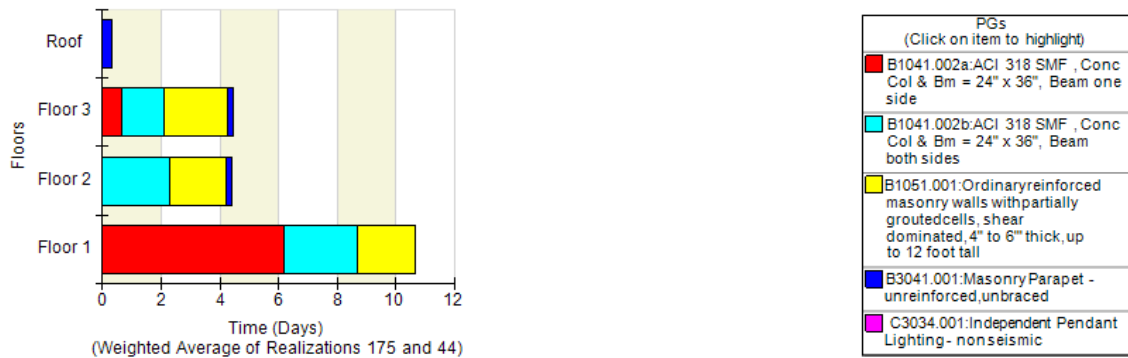


*Nota:* Curva idealizada a partir de las realizaciones del programa PACT, tiempo en paralelo.

En la figura 43, se puede apreciar un tiempo medio de reparación de 11 días aproximadamente. Para la siguiente figura 44 detalla los grupos de fragilidad involucrados, así como su tiempo paralelo de reparación en base de los niveles de daño determinados por la herramienta.

**Figura 44**

*Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación*

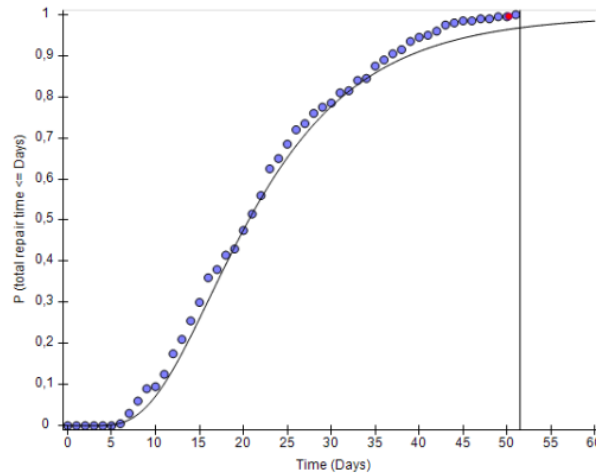


*Nota:* Tiempo de reparación por grupo de fragilidad considerando tiempo paralelo.

En los distintos escenarios planteados por la herramienta PACT, el peor de los casos está representado por la mayor cantidad de daños basados en la intensidad del espectro de diseño mayorado 1,3 veces por el factor de importancia. Este escenario considera una reparación serial de daños por piso que presenta una propia curva de probabilidad de reparación detallada en la figura 45.

**Figura 45**

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el caso más probable*

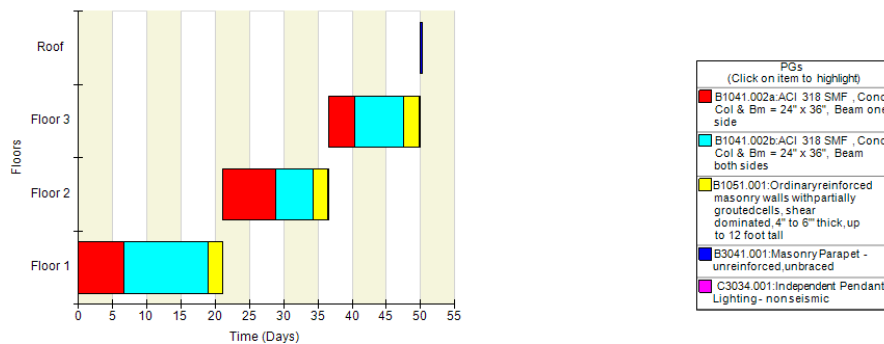


*Nota:* Curva idealizada a partir de las realizaciones del programa PACT, tiempo en serie.

En base a la figura 45, donde se presenta el tiempo de reparación en el peor de los casos, se establece un tiempo de recuperación en serie, siguiendo este criterio. Este es presentado en la figura 46 a continuación:

**Figura 46**

*Grupos de fragilidad y tiempo en serie de reparación*



*Nota:* Tiempo de reparación por grupo de fragilidad considerando tiempo en serie.

## **Resumen de los resultados**

Para un caso promedio el tiempo de recuperación del bloque 2\_3 de la UE1 fue aproximadamente 11 días siendo los grupos de fragilidad B1041.002a y B1041.002b los más afectados, en cambio, para el peor de los casos el tiempo de recuperación de la estructura es de casi 52 días con los mismos grupos de fragilidad.

## **Recomendaciones específicas Unidad Educativa 1**

Conforme a los resultados obtenidos respecto al nivel de amenaza sísmico existente donde se consideró el sismo de diseño y máximo considerado de la edificación, incrementados en un treinta por ciento, para los objetivos de desempeño BSE-1-Seguridad de vida y BSE-2-Prevención de colapso, se generan las siguientes recomendaciones para la UE1 esperando alcanzar niveles de desempeño avanzados que mejoren el tiempo de reocupación de la estructura.

- La presencia de mampostería no aislada ha representado una fuente de rigidez considerable para la estructura generando efectos de torsión los mismos que comprometen el desempeño de la misma. Bajo lo antes mencionado, el correcto aislamiento de mamposterías representaría una mejora a nivel estructural puesto que evitaría estos tipos de efectos, reduciendo a la par el daño en rótulas y nudos presentados, mediante el análisis, en columnas del primer nivel.
- A nivel no estructural el aislamiento de elementos de mampostería y su respectivo proceso de reforzamiento deben considerar la seguridad de los ocupantes, estos elementos son parte de los que mayor daño absorben de acuerdo a la herramienta computacional PACT. Bajo este precepto y tomando como prioridad el aislamiento y reforzamiento es recomendable considerar opciones secundarias de separación de espacio o particiones diferentes, tales como gypsum o Steel framing.

- El correcto diseño de elementos no estructurales como parapetos o la instalación adecuada de elementos como iluminaciones, mejoraría el tiempo de recuperación de una 15% al 20% en comparación al tiempo presentado en este estudio, y de la misma manera la tasa de accidentalidad dentro de la unidad educativa.

## Capítulo 6

### Unidad Educativa 2

#### Ubicación UE2

La Edificación seleccionada para el análisis del objetivo 2 del presente proyecto se encuentra ubicada en la Unidad Educativa Lev Vygotsky en la ciudad de Sangolquí calle Imbabura y Av. El Inca. El establecimiento se encuentra señalado con coordenadas geográficas correspondientes a la zona 17, como se indica en la Tabla 32.

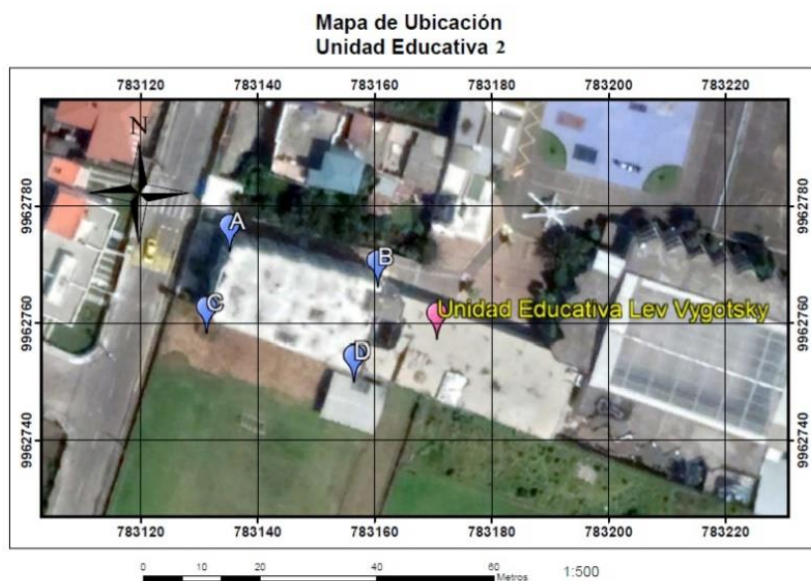
**Tabla 32**

*Coordenadas geográficas de la UE2*

Edificación	Punto	Latitud	Longitud
UE2	A	0°20'11.22"S	78°27'22.78"O
	B	0°20'11.48"S	78°27'21.93"O
	C	0°20'12.01"S	78°27'22.07"O
	D	0°20'11.68"S	78°27'22.89"O

**Figura 47**

*Edificación de análisis y nomenclatura de coordenadas*

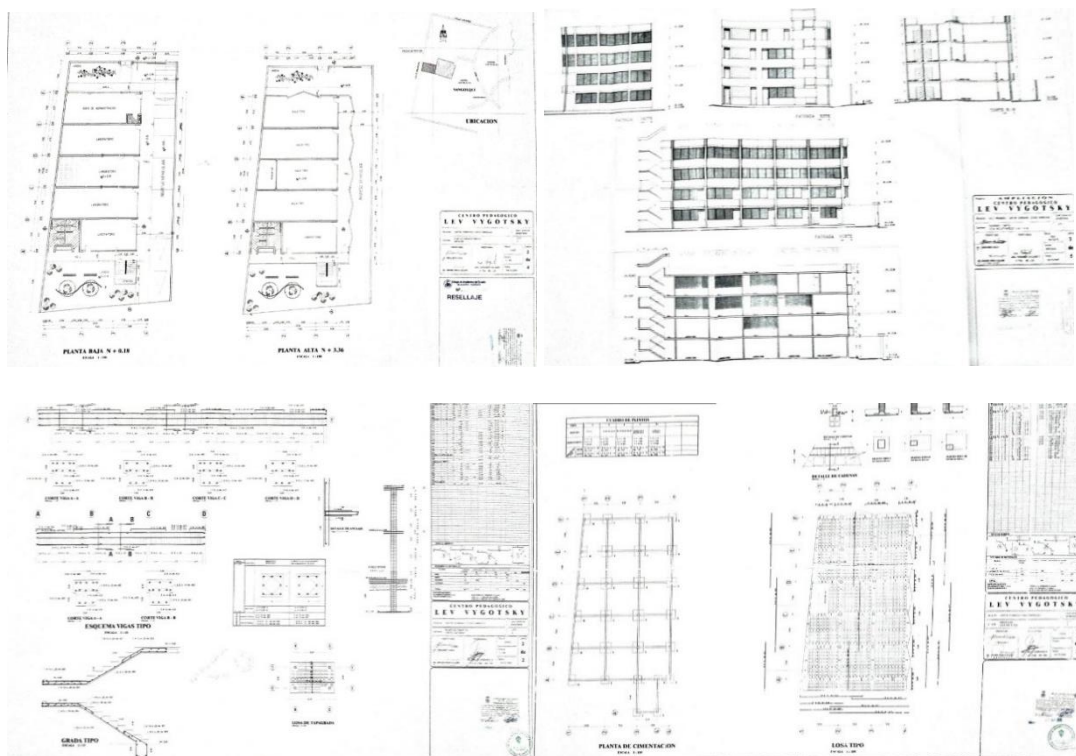


## Referencia arquitectónica y estructural

Para obtener la información arquitectónica y estructural fue necesario obtener la clave catastral de los tres predios que conforman el centro educativo de manera que se obtuvo una autorización de la directora de la unidad educativa para el uso y solicitud de esta información en el Municipio de Rumiñahui. Se buscó el expediente del predio en la entidad pública mismo que presentaba los planos arquitectónicos y estructurales de la unidad educativa, para corroborar esta información se realizaron visitas e inspecciones visuales, mediciones en campo y ensayos no destructivos.

### Figura 48

#### *Planos arquitectónicos y estructurales*



### Descripción general

El bloque estructural seleccionado está destinado a cumplir funciones como centro pedagógico para los estudiantes de bachillerato de la unidad educativa 2 entrando en la



clasificación de una edificación de ocupación especial con alta importancia ante un evento sísmico. La edificación está conformada por elementos de hormigón armado, con un eje no paralelo y escaleras en su zona lateral izquierda, ancladas a la estructura, lo que proveen irregularidad en planta al bloque estructural. La estructura cuenta con cubierta accesible además de estar prevista para conectarse con otro bloque estructural mediante la edificación destinada a un auditorio, mismas estructuras que no se encuentran separadas por juntas constructivas y se podrían esperar posibles daños ante un sismo.

#### **Figura 49**

*Fachada norte del bloque de análisis de la unidad educativa 2*



#### **Tipo de suelo**

La caracterización de suelo se obtuvo mediante el estudio realizado por “ECUASUELOS21” en el año 2015, quienes llevaron a cabo perforaciones S.P.T. recuperando muestras alteradas cada 0,5m mismas de las que se obtuvo la humedad natural, límites de Atterberg y propiedades granulométricas del suelo; se determinó el tipo de suelo correspondiente a un perfil tipo “D” que, la normativa ecuatoriana referente a peligro sísmico, lo cataloga como un perfil rígido que cumple con una velocidad de onda de corte entre 180 y 460 m/s (MIDUVI, 2014).

### Zona sísmica

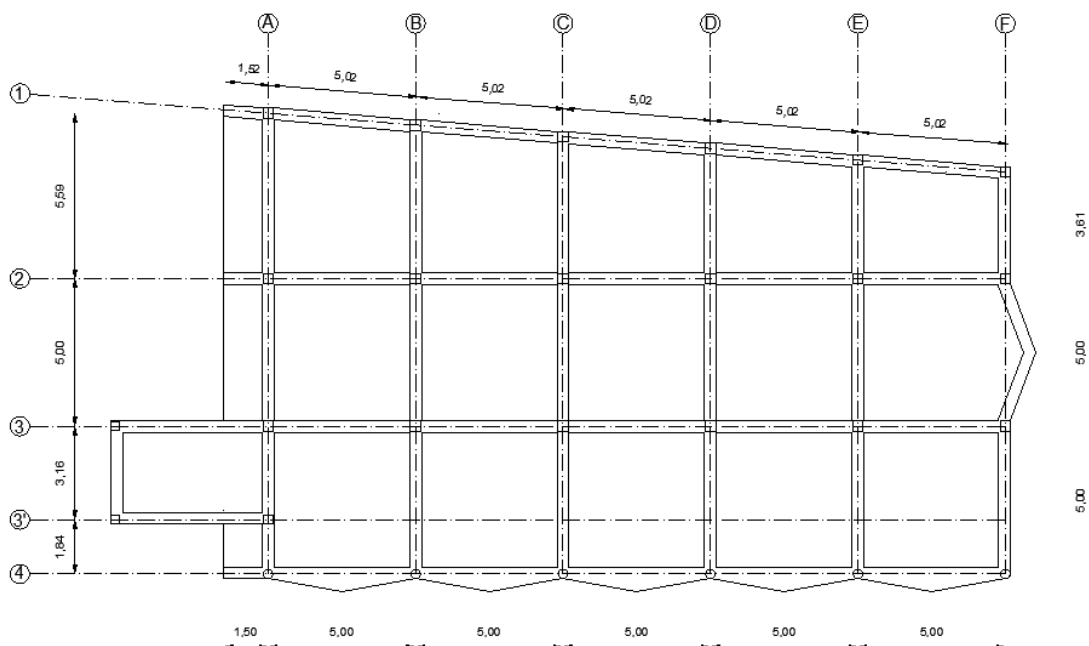
De acuerdo con la normativa ecuatoriana NEC-SE-DS la unidad educativa 2 se encuentra catalogada en una zona sísmica V, el cual representa un valor en el factor Z de 0,40 mismo que clasifica a la estructura como zona de alto peligro sísmico (MIDUVI, 2014).

### Descripción del edificio en planta

El eje X del bloque se encuentra en el sentido longitudinal mientras que el eje Y en el sentido transversal, uno de los ejes longitudinales no es paralelo, lo cuál de acuerdo con la normativa NEC-SE-DS señala este tipo de ejes como un parámetro que le confiere irregularidad en planta. Los vanos longitudinales son de 5m con un volado de 1,5m mientras que el eje transversal tiene vanos de 5m exceptuando el vano correspondiente al eje no paralelo el cual varía de 3.61m a 5.59m conforme a lo señalado en la figura 50. Los componentes estructurales se encuentran constituidos por columnas de 35 cm x 35 cm, vigas T de altura de 40cm junto a una base mayor y menor de 40 cm y 30 cm respectivamente (MIDUVI, 2014).

**Figura 50**

*Planta unidad educativa 2*

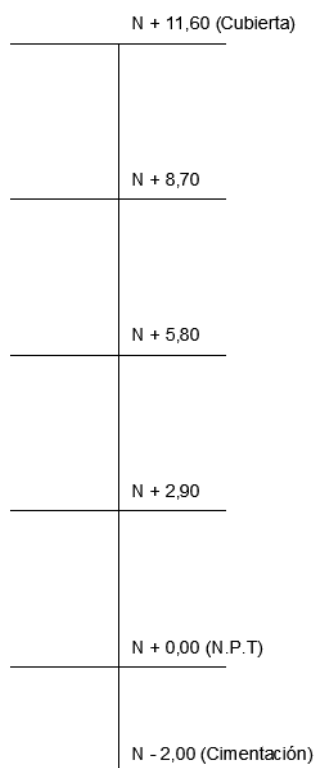


### Descripción del edificio en elevación

El bloque estructural, con una altura total de 11,6 m, está conformado por 4 niveles, todos con una altura de entrepiso común de 2,90 m. Debido a la irregularidad que provoca el eje no paralelo y la construcción monolítica del bloque de escaleras con el bloque estructural, se tiene que las distancias totales de los pórticos varían, especialmente en el sentido Y. Tenemos así en sentido X de 5 a 6 vanos con un volado de 1,5m y una luz característica de 5m , mientras que en el sentido Y se tienen 3 vanos con una luz característica de 5m excepto en el vano configurado con el eje no paralelo que varía entre 3,61m y 5,59m. La cimentación tiene una profundidad de 2 m partiendo del nivel natural del terreno. La edificación es regular en elevación.

### Figura 51

*Esquema elevación de la unidad educativa 2*



### Dimensiones de elementos estructurales

El bloque de análisis de la UE2, como se encuentra conformado actualmente, fue ejecutado en dos etapas. El diseño inicial, ejecutado en el año 2005, constaba de dos pisos con proyección a una ampliación de dos plantas. La fase final tuvo lugar en el año 2007, tanto el acero de refuerzo como el hormigón contaron con las mismas características de diseño y haciendo uso de las mismas secciones y armados de los componentes estructurales especificados en el plano estructural correspondiente a la fase 1.

### Secciones de columnas

El bloque se encuentra conformado por tres secciones, dos cuadradas y una circular, la mayoría de secciones corresponden a columnas de 35 cm de lado con un armado longitudinal de 4Ø14mm y 4Ø16mm, mientras que en el armado transversal cuenta con 2EØ8mm @20 cm en la zona intermedia y @10 cm en extremos, la zona de las escaleras está conformada por columnas de 30 cm de lado con el mismo armado descrito anteriormente. Finalmente, el eje 4 cuenta con columnas de sección circular de 32 cm de diámetro, 6Ø16mm en su armado longitudinal y 1EØ8mm @20 cm en su zona intermedia y @10 cm en extremos como armadura transversal.

### Tabla 33

*Secciones de columnas existentes en el bloque de la UE2*

<b>Cuadro de columnas</b>			
<b>N.º de columnas</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Armado</b>	<b>Esquema [m]</b>
<b>18</b>	(1 a 3) (A a F)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 4Ø14mm</li> <li>● 4Ø16mm</li> <li>2EØ8mm@10 y 20 cm</li> </ul>	

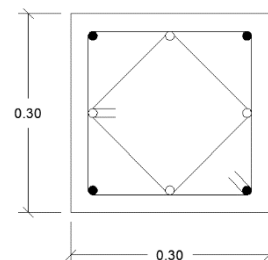
3

3G – 3'G – 3'A

○ 4Ø14mm

● 4Ø16mm

2EØ8mm@10 y 20 cm

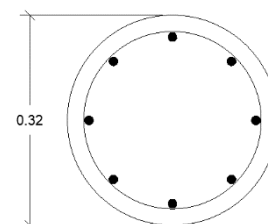


6

4(A a F)

● 6Ø16mm

1EØ8mm@7,5 y 15 cm



### Secciones de las vigas

La edificación está constituida por dos clases de vigas, una viga T descolgada y una viga embebida para las escaleras. Las vigas T cuentan con una altura de 40 cm y longitudes de 40 y 30 cm en sus respectivas bases. Las vigas embebidas cuentan con una base de 40 cm y una altura de 20cm y siguen un armado afín al de las vigas T, ambos armados, ubicaciones y secciones se encuentran detallados en la tabla 34.

**Tabla 34**

*Detalles de las vigas del bloque de la UE2*

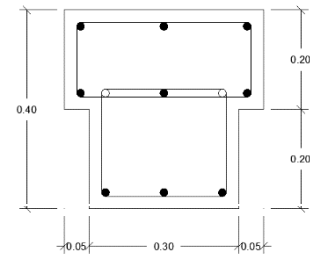
Ubicación	Armado	Esquema
Extremos L/4 (A a F)	○ 2Ø12mm	
(1 a 3) - Bloque	● 11Ø14mm	
Intermedio L/2	2EØ8mm@10 cm	

G - 3' - 3 Escaleras

○ 2Ø12mm

● 9Ø14mm

2EØ8mm@20 cm

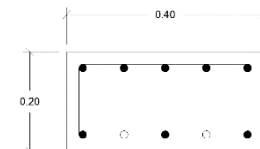


4 (A a F)

○ 2Ø12mm

● 8Ø14mm

2EØ8mm@10 cm

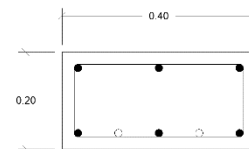


4 (A a F)

○ 2Ø12mm

● 6Ø14mm

2EØ8mm@20 cm

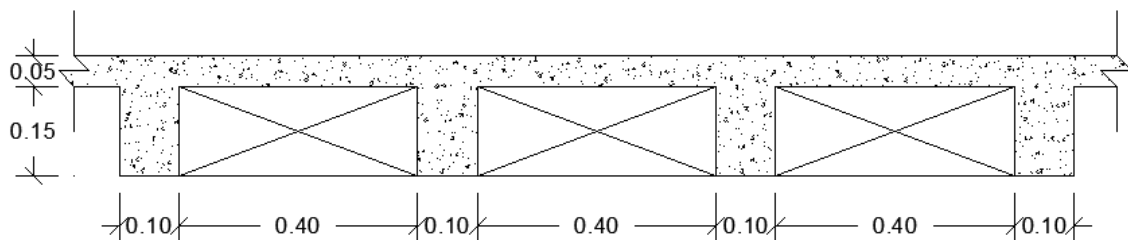


**Características de las losas**

La edificación cuenta con losas alivianadas armadas en dos direcciones, de una altura de 20 cm, con un espesor en su carpeta de compresión de 5cm y nervios de un espesor de 10 cm y altura de 20 cm acorde con lo mostrado en la figura 52.

**Figura 52**

*Corte típico de losa*



**Especificaciones de los materiales**

**Resistencia del hormigón a la compresión**

Conforme a las especificaciones técnicas obtenidas de los planos estructurales la resistencia del hormigón a la compresión de columnas, vigas y losas es de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

### **Módulo de elasticidad**

De acuerdo con la formula presentada por el (ACI, 2019) tenemos que el módulo de elasticidad del concreto se puede determinar a partir de la resistencia del concreto a la compresión, tenido así la siguiente ecuación.

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c} \quad (12)$$

Donde:

$E_c$	Módulo de elasticidad del concreto (kgf/cm <sup>2</sup> )
$f'_c$	Resistencia del hormigón a la compresión

Por lo tanto:

$$E_c = 15100 * \sqrt{210 \text{ kg/cm}^2}$$

$$E_c = 218819,79 \text{ kg/cm}^2$$

### **Esfuerzo de fluencia del acero**

Los documentos técnicos de la edificación especifican el valor para la fluencia del acero de una barra corrugada con un total de 4200 kg/cm<sup>2</sup> para todos los elementos estructurales.

### **Análisis de cargas**

#### **Cargas permanentes**

De acuerdo con (Hibbeler, 2012) este tipo de cargas corresponden a los elementos estructurales y todo objeto que se encuentre actuando en todo momento, entre los cuales se hallan elementos estructurales (columnas, vigas y losas) y no estructurales (muros, acabados, instalaciones y accesorios).

Para determinar las diferentes cargas actuantes se obtendrá el aporte de los elementos de análisis a partir de la densidad propuesta por las cargas de la normativa NEC-SE-CG para

distribuirlos en el área actuante y de este modo obtener cargas distribuidas por unidad de área de acuerdo con la metodología tradicional.

### ***Peso de vigas***

El peso propio de vigas se ha definido midiendo su longitud efectiva en el piso, mismo que se multiplicará por su sección transversal para distribuirlo en el área total del piso, apegándonos a la metodología tradicional para el cálculo de cargas, a continuación, se detallan las medidas obtenidas a partir de la geometría general.

**Tabla 35**

*Longitud y área de vigas para un piso típico*

<b>Tipo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Vigas T	186,41	0,14
Vigas embebidas	13,52	0,08

$$Densidad\ de\ vigas = 24\ K/m^3$$

$$Área\ total\ de\ piso = 420,52\ m^2$$

$$Volumen\ Vigas\ T = Longitud * Área = 186,41 * 0,14$$

$$Volumen\ Vigas\ T = 26,1\ m^3$$

$$Peso_{Total\ Vigas\ T} = 24 * 26,1$$

$$Peso_{Total\ Vigas\ T} = 626,4\ KN$$

$$Volumen\ Vigas\ E = Longitud * Área = 13,52 * 0,08$$

$$Volumen\ Vigas\ E = 1,08\ m^3$$

$$Peso_{Total\ Vigas\ E} = 24 * 1,08$$

$$Peso_{Total\ Vigas\ E} = 25,92\ KN$$



$$Peso_{vigas} = \frac{626,4 + 25,92}{420,52} = 1,551 \text{ KN/m}^2$$

### **Peso de columnas**

El peso propio de columnas sigue lo ya mencionado en el cálculo para el peso de vigas, a continuación, se detallan las medidas obtenidas a partir de la geometría general.

**Tabla 36**

*Longitud y área de columnas para un piso típico*

<b>Tipo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Columnas 35x35	52,2	0,12
Columnas 30x30	8,7	0,09
Columnas D32	17,4	0,08

$$Densidad \text{ de columnas} = 24 \text{ K/m}^3$$

$$\text{Área total de piso} = 420,52 \text{ m}^2$$

$$Volumen \text{ C35x35} = Longitud * \text{Área} = 52,2 * 0,12$$

$$Volumen \text{ C35x35} = 6,4 \text{ m}^3$$

$$Peso_{Total \text{ C35x35}} = 24 * 6,4$$

$$Peso_{Total \text{ C35x35}} = 153,47 \text{ KN}$$

$$Volumen \text{ C30x30} = Longitud * \text{Área} = 8,7 * 0,09$$

$$Volumen \text{ C30x30} = 0,78 \text{ m}^3$$

$$Peso_{Total \text{ C30x30}} = 24 * 0,78$$

$$Peso_{Total \text{ C30x30}} = 18,79 \text{ KN}$$

$$Volumen \text{ CD32} = Longitud * \text{Área} = 17,4 * 0,08$$

$$Volumen \text{ CD32} = 1,39 \text{ m}^3$$

$$Peso_{Total\ CD32} = 24 * 1,39$$

$$Peso_{Total\ CD32} = 33,59\ KN$$

$$Peso_{Columnas} = \frac{153,47 + 18,79 + 33,59}{420,52} = 0,49\ KN/m^2$$

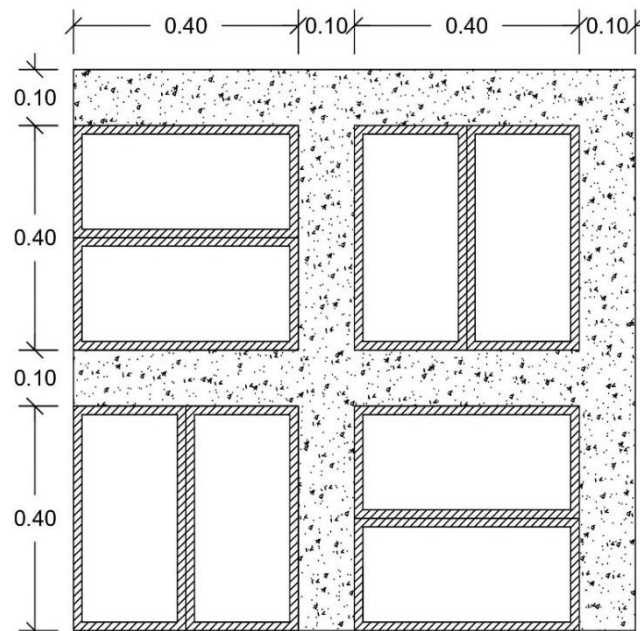
Se debe tener en cuenta que para el piso 4 no se considera el aporte de las cargas de las columnas debido a la configuración del piso como cubierta.

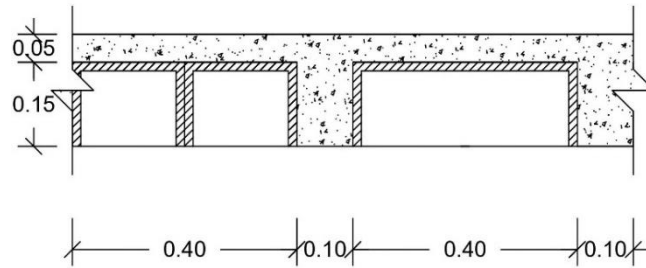
### **Peso de losa**

Para este caso se determinará el peso característico de un metro cuadrado de losa conformada por bloques alivianados de 40x20x15cm con una densidad de 8,5 KN/m<sup>3</sup> de acuerdo con la normativa NEC-SE-CG.

### **Figura 53**

*Esquema de un metro cuadrado de losa bidireccional*





*Densidad de placa de compresión y nervios = 24 K/m<sup>3</sup>*

*Densidad de bloque alivianado = 8,5 K/m<sup>3</sup>*

*Área total de piso = 420,52 m<sup>2</sup>*

*Volumen Total = Espesor \* Área = 0,2 \* 1*

*Volumen Total = 0,2 m<sup>3</sup>*

*Volumen alivianado = #bloque \* Volumen de bloques = 8 \* (0,4 \* 0,2 \* 0,15)*

*Volumen alivianado = 0.096 m<sup>3</sup>*

*Volumen macizo = V.Total – V.alivianado = 0,2 – 0,096*

*Volumen macizo = 0,104 m<sup>3</sup>*

*Peso<sub>macizo</sub> = 24 \* 0,104*

*Peso<sub>macizo</sub> = 2.496 KN/m<sup>2</sup>*

*Peso<sub>alivianado</sub> = 8,5 \* 0,096*

*Peso<sub>alivianado</sub> = 0.816 KN/m<sup>2</sup>*

*Peso<sub>Total Losa</sub> = 2,496 + 0,816 = 3,31 KN/m<sup>2</sup>*

### **Peso de paredes**

El peso de la mampostería lo obtenemos a partir de la configuración arquitectónica comprobada en sitio, de manera que se tienen 3 configuraciones diferente para el piso 1, piso 2 y 3 y para el piso destinado a cubierta descritos en la tabla 37.

**Tabla 37**

*Área de mampostería por piso*

<b>Piso</b>	<b>Área mampostería (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área mampostería/Área Total (m<sup>2</sup>)</b>
Piso 1	342,89	0,815
Piso 2 y 3	349,92	0,832
Piso 4	90,93	0,216

De acuerdo con (Páez Vargas, 2014) señala valores de peso sobre área de acuerdo con las dimensiones y tipo de mampostería empleada mismos que se encuentran en la tabla 38, de este modo aplicamos el coeficiente de densidad de pared, siendo todos menor a uno, adoptamos un valor mínimo de carga para un ancho de bloque de 20 cm.

**Tabla 38**

*Peso por unidad de superficie en muros de bloque y ladrillo*

	<b>Bloque prensado</b>			<b>Bloque alivianado</b>		
	<b>Ancho de bloque (cm)</b>	10	15	20	10	15
<b>Carga por m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>)</b>		158,37	189,94	240,96	111,17	149,03
<b>Densidad de muros (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)</b>		<b>Carga por unidad de superficie (kg/m<sup>2</sup>)</b>				
<b>Valor promedio</b>	1,477	233,91	280,54	355,89	164,20	220,12
<b>Valor máximo</b>	2,006	317,63	380,95	483,28	222,97	298,90
<b>Valor mínimo</b>	1,009	159,84	191,71	243,20	112,21	150,42

*Nota:* Tomado de *Determinación de la carga permanente debida al peso de mampostería* (p. 63), por (Páez Vargas, 2014).

$$Peso_{Piso 1} = 342,89 * 2,432 = 833,91 \text{ KN}$$

$$Peso_{Total \text{ Piso } 1} = \frac{833,91}{420,52}$$

$$Peso_{Total \text{ Piso } 1} = 1,98 \text{ KN/m}^2$$

$$Peso_{Piso 2 y 3} = 349,92 * 2,432 = 851,01 \text{ KN}$$

$$Peso_{Total \text{ Piso } 2 y 3} = \frac{851,01}{420,52}$$

$$Peso_{Total \text{ Piso } 2 y 3} = 2,02 \text{ KN/m}^2$$

$$Peso_{Piso 4} = 90,93 * 2,432 = 221,14 \text{ KN}$$

$$Peso_{Total \text{ Piso } 4} = \frac{221,14}{420,52}$$

$$Peso_{Total \text{ Piso } 4} = 0,53 \text{ KN/m}^2$$

### **Peso de acabados**

Para calcular el aporte de los acabados se ha considerado elementos del entrepiso como la cerámica, su alisado y el mortero, la cubierta al contar también con acabados se conservará la misma carga que en los entrepisos, en la tabla 39 se muestra el aporte de este parámetro.

**Tabla 39**

*Detalle de pesos por acabados UE2*

<b>Componente</b>	<b>Peso unitario (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso calculado (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Cerámica	18,00	1 * 1 * 0,01 * 18 = 0,18
Mortero	18,00	1 * 1 * 0,01 * 18 = 0,18
Alisado	20,00	1 * 1 * 0,02 * 20 = 0,4

De este modo obtenemos un aporte total de 0,76 kN/m<sup>2</sup> mismo que se aumentara a 1 kN/m<sup>2</sup> para tener en cuenta el aporte de otros acabados no considerados como instalaciones, ventanas y otros mobiliarios empotrados o permanentes no considerados en el análisis.

### **Cargas temporales**

De acuerdo con la normativa NEC-SE-CG, las cargas temporales dependen de la ocupación o uso de la edificación. El bloque de análisis sirve como centro pedagógico. En función de esto, se adoptó las cargas mínimas establecidas por la normativa para aulas.

**Tabla 40**

#### *Carga viva implementada*

Uso u Ocupación	Carga Uniforme (kN/m <sup>2</sup> )	Carga Concentrada (kN)
Unidades educativas - Aulas	2,00	4,50
Unidades educativas – Corredores P1	4,80	4,50
Unidades educativas – Corredores P2-3	4,00	4,50
Cubierta	3,00	-

*Nota:* Tomado de NEC-SE-CG, por (MIDUVI, 2014).

### **Combinaciones de cargas**

Al ser esta una evaluación para una estructura existente se selecciona la combinación de cargas, indicadas por la normativa ecuatoriana de riesgo sísmico, evaluación y rehabilitación de estructuras NEC-SE-RE, que genere los efectos más desfavorables en la estructura, todo esto en concordancia con el análisis de cargas propuesto anteriormente siguiendo los lineamiento de las normativas NEC-SE-CG y NEC-SE-DS para la estimación de cargas gravitacionales y laterales (MIDUVI, 2014).

$$1,1(D + 0,25L) + E \quad (13)$$

Donde:

D	Carga muerta de la edificación
E	Efectos sísmicos
L	Carga Viva

### **Resumen**

A continuación, se presenta en la tabla 41 las cargas ultimas requeridas para la combinación seleccionada y la tabla 42 que señala un resumen con las cargas permanentes consideradas para la unidad educativa 2, cabe destacar que, para la combinación requerida para el análisis de la edificación, es necesario agregar a los valores presentados a continuación el aporte de la carga lateral debido al efecto sísmico y la carga viva.

### **Tabla 41**

*Sumatoria de cargas actuantes en el bloque de análisis de la UE2*

<b>Carga última por piso</b>	
<b>Primer piso</b>	
Sismo	0,74 kN/m <sup>2</sup>
Cargas última aulas	10,46 kN/m <sup>2</sup>
<b>Segundo piso</b>	
Sismo	1,48 kN/m <sup>2</sup>
Cargas última aulas	11,25 kN/m <sup>2</sup>
<b>Tercer piso</b>	
Sismo	2,23 kN/m <sup>2</sup>
Cargas última aulas	11,99 kN/m <sup>2</sup>
<b>Cubierta</b>	
Sismo	2,30 kN/m <sup>2</sup>
Cargas última aulas	10,16 kN/m <sup>2</sup>

### **Tabla 42**

*Resumen de las cargas permanentes UE2*

<b>Componentes</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Piso 2 y 3</b>	<b>Cubierta</b>
--------------------	---------------	-------------------	-----------------

N.º	Descripción	Valor KN/m <sup>2</sup>	Valor KN/m <sup>2</sup>	Valor KN/m <sup>2</sup>
1	Losa	3,31	3,31	3,31
2	Vigas	1,55	1,55	1,55
3	Columnas	0,49	0,49	-
4	Mampostería	1,98	2,02	0,53
5	Acabados	1,00	1,00	1,00
<b>Total</b>		<b>8,34</b>	<b>8,38</b>	<b>6,39</b>

### Cortante basal de diseño

Conforme con los datos recopilados respecto a la tipología de la estructura, el tipo de suelo, la zona sísmica, etc. Procedemos aplicar la metodología de estimación de la carga lateral de acuerdo con la normativa NEC-SE-DS.

**Tabla 43**

*Parámetros para espectro de diseño elástico de la UE2*

Parámetro	Variable	Valor	Unidades
Coefficiente de importancia	I	1,30	-
Factor de reducción de respuesta	R	8,00	-
Zona sísmica		V	
Factor de zona sísmica	Z	0,40	-
Relación entre aceleración espectral y PGA	n	2,48	-
Factor de acuerdo al tipo de edificación	Ct	0,055	-
Altura de la edificación	hn	11,60	m
Factor de acuerdo al tipo de edificación	$\alpha$	0,90	-
Tipo de Suelo		D	
Factor de amplificación del suelo	Fa	1,20	-
Factor de amplificación del suelo	Fd	1,19	-
Factor de amplificación del suelo	Fs	1,28	-
Factor asociado al periodo de retorno	r	1,00	-
Coefficiente de irregularidad en planta	$\Phi p$	0,90	-

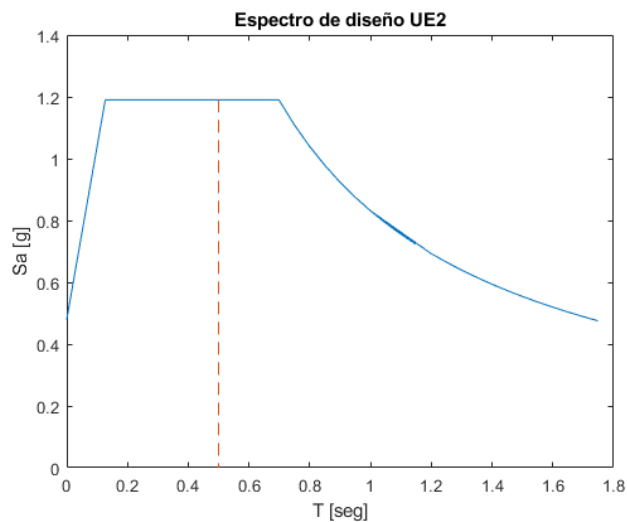


Coefficiente de irregularidad en elevación	$\Phi e$	1,00	-
Periodo de vibración	T	0,499	Seg.
Límite inicial en T = T0	T0	0,127	Seg.
Límite final en T = Tc	Tc	0,698	Seg.
Límite en T = TL	TL	2,856	Seg.
Aceleración para (T = 0)	Sa	0,480	g.
Aceleración para (T = T0)	Sa <sub>0</sub>	1,190	g.

En la figura 54 se presenta el espectro de diseño de aceleraciones de la UE2

**Figura 54**

*Espectro de diseño UE2*



**Tabla 44**

*Parámetros para cortante basal*

Coeficiente de corte basal		
Ta	0,499	Seg.
Sa(Ta)	1,19	g
I	1,3	s.u
R	8	s.u
$\phi_p$	0,9	s.u
$\phi_e$	1	s.u

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} W \quad (14)$$

Donde:

$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleración
$\phi_P$ y $\phi_E$	Coefficientes de irregularidad en elevación y planta
$I$	Factor de importancia
$R$	Factor de reducción de resistencia sísmica
$V$	Cortante basal total de diseño
$W$	Carga sísmica reactiva
$T_a$	Período de vibración

$$\frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} = 0,215$$

El peso de la estructura es de  $W = 13211,76 \text{ kN}$

Teniendo así un cortante basal de

$$V = 0,215 * 13211,76$$

$$V = 2839,65 \text{ kN}$$

Para poder terminar con el proceso de cargas sísmica se debe calcular las cargas laterales perteneciente a cada piso de la estructura.

Las fuerzas sísmicas laterales significan el fin del cálculo para la obtención de las cargas sísmicas. La normativa del Ecuador, en su código NEC-SE-DS, pone a disposición para su cálculo la ecuación (15).

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} * V \quad (15)$$

La Tabla 45 muestra los parámetros que se utilizaron para realizar la distribución de las fuerzas sísmicas.

**Tabla 45**

*Coefficientes para el cortante basal para el bloque de la UE2*

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidades	Nota
Participación de cortante basal	% V	21,49	%	-
Carga Sísmica Reactiva	W	13211,76	KN	-
Cortante Basal	V	2839,65	KN	%V x W

En el siguiente apartado se detalla la distribución vertical de las cargas laterales debido al efecto sísmico en la estructura.

**Tabla 46**

*Coefficientes para el cortante basal para el bloque de la UE2*

Piso #	Wi [Kn]	hi [m]	Wi*hi [Kn.m]		Fi [Kn]	
1	3485,14	2,9	10106,90	0,109	310,43	2839,65
2	3503,68	5,8	20321,36	0,220	624,16	2529,22
3	3503,68	8,7	30482,05	0,330	936,23	1905,07
4	2719,26	11,6	31543,37	0,341	968,83	968,83
	∑ 13211,76		∑ 92453,68	∑ 1	∑ 2839,65	∑ 8242,77

### Ensayos no destructivos

#### **Pachómetro**

Se comprobó el armado de los elementos estructurales, tanto el refuerzo longitudinal como en su armado transversal, de esta manera se verificó los diámetros de las varillas, el recubrimiento de los elementos y la separación del refuerzo de corte, se debe tener en cuenta los inconvenientes del ensayo no destructivo para verificar la ubicación de empalmes,

comprobar la existencia de vinchas o configuraciones de más de dos estribos además de las longitudes de doblado y uso de ganchos sísmicos, detalles fundamentales para un correcto desempeño de los pórticos especiales a momento.

#### **Figura 55**

*Evidencia del ensayo del pachómetro en la UE2*



**Resultados.** El análisis de los elementos permitió comprobar que el refuerzo era acorde con la información presentada en los planos, adicional a eso se identificó el armado longitudinal y transversal de las columnas circulares mismo que se introdujo en la sección correspondiente.

#### **Esclerómetro**

El registro de datos se realizó con 16 golpes a una separación de 5 cm sobre la superficie de las columnas con enlucido debido a la accesibilidad a los elementos de estudio, de este modo se delimitó una malla rectangular de 15x15 cm y se hizo uso del martillo Schmidt para la lectura de datos, generando el registro que se encuentra en la tabla 47.

#### **Figura 56**

*Evidencia del ensayo del esclerómetro en la UE2*



**Resultados.** A partir de los datos obtenidos del ensayo se descartan el valor máximo y mínimo y se obtiene el promedio de rebote, mismo que se aplicará en la figura 49 para obtener la resistencia  $f'c$  de acuerdo con la calibración y especificación del equipo.

**Tabla 47**

*Registro de rebotes por golpe*

Rebote con martillo N (RN) en posición A											
Golpe	Columnas										
	A1- P1	B3- P1	C4- P1	D3- P1	F1- P1	F4- P1	A1- P2	B2- P2	C4- P2	E4- P2	F1-P2
1	32	38	44	36	30	34	38	30	38	34	26
2	34	32	40	40	30	40	32	32	40	42	28
3	34	30	40	38	30	36	30	28	38	28	22
4	38	30	28	36	34	46	30	34	30	28	28
5	38	32	42	36	32	38	32	28	38	36	28
6	36	34	40	36	32	36	34	34	36	36	32
7	36	30	40	38	32	38	30	34	40	26	30
8	32	34	40	34	34	30	34	30	34	26	32
9	32	32	40	32	34	40	32	30	34	40	26
10	36	38	36	38	32	40	38	36	32	38	30
11	34	34	36	36	28	34	34	30	38	26	36

12	36	34	28	32	36	34	34	34	28	26	30
13	40	32	38	38	34	38	32	34	38	40	30
14	34	32	40	38	34	34	32	28	32	28	32
15	34	34	42	34	28	34	34	30	32	36	26
16	38	32	36	32	32	40	32	46	28	32	30
Promedio	35,1	32,6	38,4	35,9	32,0	36,9	29,6	31,7	34,9	32,4	29,3

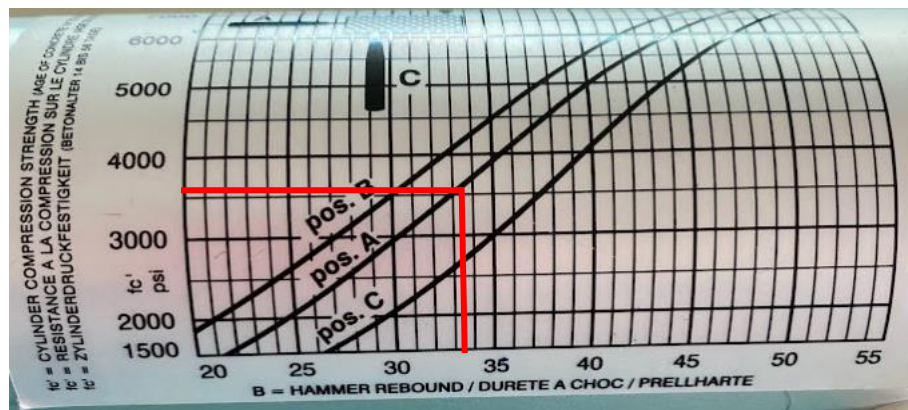
$$P. de rebote = \frac{35,1 + 32,6 + 38,4 + 35,9 + 32 + 36,9 + 29,6 + 31,7 + 34,9 + 32,4 + 29,3}{11}$$

Promedio de rebote = 33,52

Obtenido el promedio de rebote, se procede a determinar la resistencia a la compresión  $f'_c$  mediante el gráfico de correlación del martillo Schmidt.

Figura 57

Promedio rebote vs resistencia a la compresión



Dándonos una resistencia del ensayo de 3600 psi, que equivale a 253 kg/cm<sup>2</sup>. Calcular la resistencia del hormigón después de un tiempo depende de varios factores, y uno de ellos es el factor de carbonatación factor que se tomó de la tabla 22. Al considerar una profundidad de carbonatación de 3 cm, nuestro factor de corrección es de 0,80.

$f'c = \text{valor esclerómetro} * \text{factor de corrección}$

$$f'c = 253 \frac{kg}{cm^2} * 0,80$$

$$f'c = 212,5 \text{ kg/cm}^2$$

Aplicado el factor de corrección adoptamos la resistencia a la compresión calculada de los diferentes componentes estructurales de hormigón de la UE2 a 210 kg/cm<sup>2</sup>.

## Capítulo 7

### Modelamiento y Análisis de la Unidad Educativa 2

Este capítulo detalla las características y aspectos para poder realizar el modelo estructural en el software computacional SeismoStruct, además de incluir los objetivos desempeño y su respectivo análisis no lineal estático.

#### Consideraciones del modelo en SeismoStruct

##### **Materiales**

- Hormigón en vigas  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Hormigón en columnas  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Bloque de mampostería  $f'c = 35,70 \text{ kg/cm}^2$
- Fluencia del acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

##### **Secciones**

Se presenta en la Tabla 48, las secciones de vigas y columnas usadas en el modelamiento, así como la nomenclatura usada para identificar a cada una.

**Tabla 48**

*Secciones de vigas y columnas para modelamiento*

Nombre	Tipo	Dimensiones [cm]
CD32cm-e-@75mm	rccs	D-32
CD32cm-e-@150mm	rccs	D-32
C35x35e-@100mm	rcrs	35x35
C35x35-e-@200mm	rcrs	35x35
Viga 13b-e-@100mm	rcts	T-30x40
Viga 11b-e-@200mm	rcts	T-30x40
C30x30e-@100mm	rcrs	30x30
C30x30e-@200mm	rcrs	30x30
Viga 20x40e-@100mm	rcrs	20x40



Viga 20x40e-@100mm	rcrs	20x40
rccs	Sección circular de hormigón armado	
rcrs	Sección rectangular del hormigón armado	
rcts	Sección T de hormigón armado	

**Secciones de mampostería.** Para esta sección el software denomina al elemento como paneles infill, que de acuerdo al manual de SeismoStruct, se debe definir cuatro nodos correspondientes a las esquinas del panel, y en secuencia antihoraria iniciando por la arista inferior izquierda, siguiendo un modelo tipo bielas con un modelo de respuesta simétrico bilineal (Seismosoft, 2021).

### **Análisis de cargas**

Una vez definida la geometría se determina las solicitaciones que actúan en la edificación. El programa tiene definido diferentes tipos de cargas por lo que se debe tener claro qué se quiere implementar al modelo

**Cargas permanentes.** Mediante la combinación de cargas seleccionada conforme al capítulo anterior se generó un mosaico de cargas correspondiente a la unidad educativa 2 de donde se obtuvieron los valores a introducir a lo largo de los elementos estructurales de acuerdo con la nomenclatura correspondiente al software, misma que se detalla para los primeros 5 elementos en la tabla 49.

**Tabla 49**

*Estructura de ingreso de cargas en Seismostruct*

Tipo	Elemento	Dirección	Magnitud	Carga
Carga Permanente	V1	z	Fuerza	-6,106
Carga Permanente	V2	z	Fuerza	-17,429
Carga Permanente	V3	z	Fuerza	-17,429
Carga Permanente	V4	z	Fuerza	-17,429

Carga Permanente	V5	z	Fuerza	-17,429
------------------	----	---	--------	---------

**Cargas temporales.** El software al no presentar un espacio exclusivo para definir las cargas temporales se añade a las cargas permanentes.

En la tabla 41 que indica las cargas últimas acordes a la combinación propuesta en el capítulo anterior y definidas para cada piso, mismas que fueron convertidas en una carga uniformemente distribuida para implementarlas a lo largo de los componentes de la edificación.

**Cargas incrementales.** Se realizará un análisis de tipo pushover, por lo que es indispensable el empleo de cargas incrementales con el objetivo de estimar la capacidad resistente horizontal de la estructura.

Estas cargas representan fuerzas o desplazamientos variables e incrementales. Para el análisis de la edificación se agregó cargas a los nodos de tipo fuerza, con un factor de carga base 1 distribuido proporcionalmente en los pórticos, las direcciones de análisis dependerán del sentido de estudio deseado (Seismosoft, 2021).

**Fases de cargas - Loading phases.** El esquema de carga/solución correspondiente al control de respuesta para un análisis tipo Pushover adaptativo, consiste en el control de la respuesta de un nodo particular de la estructura, denominado como nodo de control, mismo que no debe estar bajo efectos de una carga incremental.

De igual manera es importante señalar la cantidad de incrementos para los cuales se subdividirá el desplazamiento objetivo. La fase finaliza llegado el colapso estructural o numérico o una vez se alcanza el desplazamiento objetivo (target).

En la tabla 50 se indica los valores definidos para el análisis:

#### **Tabla 50**

*Valores definidos en el módulo fase de control de respuesta*

<b>Fases de carga</b>	
<b>Fase Tipo</b>	<b>Respuesta de Control Adaptativo</b>
Pasos	45
Nombre Nodo	61
Dirección	X
Desplazamiento máximo	0,3 m

**Espectro de diseño.** Se configura el espectro de respuesta con ayuda del programa SeismoStruct que tiene definida la normativa NEC-15. El programa solo necesita pocos datos para la creación del espectro de respuesta y estos son: la zona sísmica, tipo de suelo y el factor de amplificación. El valor del factor Z se define automáticamente dependiendo a la zona sísmica.

Los valores cargados al programa para el diseño del espectro se encuentran en la tabla 51 y en la figura 58 se encuentra el espectro final de diseño.

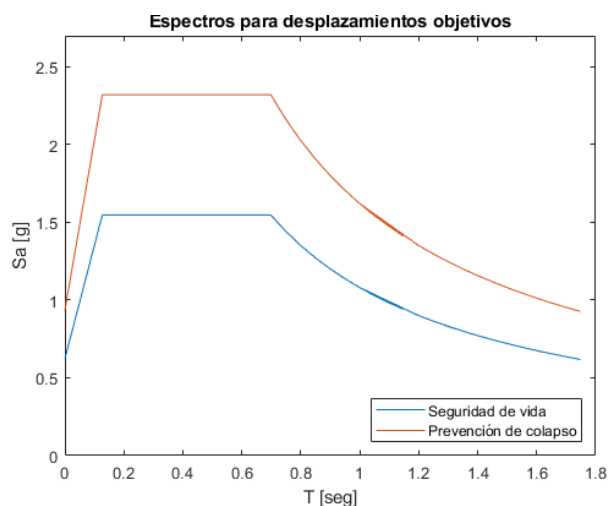
**Tabla 51**

*Valores para el diseño del espectro de respuesta UE2*

<b>Zona sísmica</b>	<b>V</b>
Valor factor Z	0,4
Tipo de suelo	D
Factor de amplificación [m]	2,48

**Figura 58**

*Espectros de respuesta UE2*



### ***Objetivos de desempeño***

Los objetivos de desempeño seleccionados para el análisis de la edificación para la UE2, fueron nivel de seguridad (3-C) con una acción sísmica BSE-1 y prevención de colapso (5-D) con una acción sísmica BSE-2, objetivos mínimos requeridos para una estructura de ocupación especial de acuerdo con la normativa NEC-SE-RE (MIDUVI, 2014) .

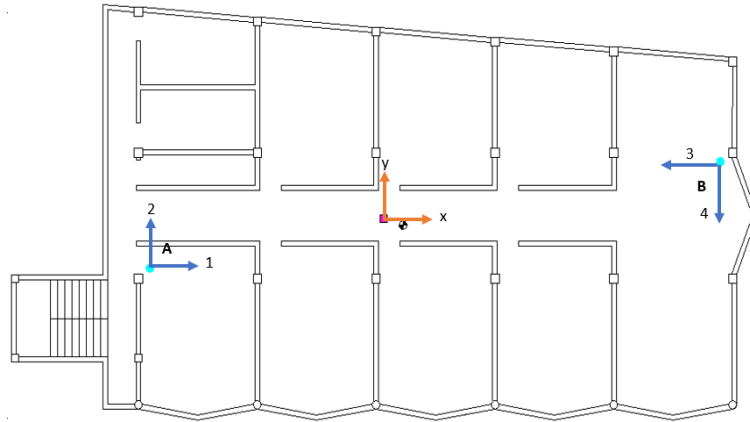
Estos niveles de desempeño son conocidos como k y p mismos que se pueden encontrar en la tabla 26.

### ***Procesamiento de datos***

Para la instrumentación sísmica se utilizó la configuración presentada en la figura 59 y 60 para el piso dos y cuatro respectivamente, donde se puede visualizar la ubicación de los acelerómetros en el sentido X y, mismo que coincide con los ejes implementados en el modelo de Seismostruct.

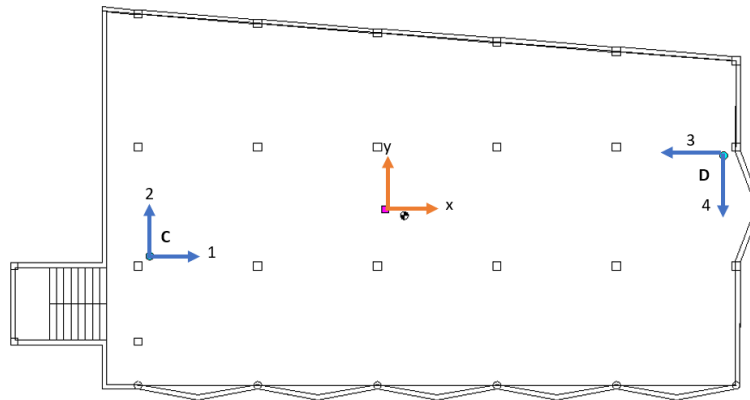
### **Figura 59**

*Configuración para la instrumentación piso 2*



**Figura 60**

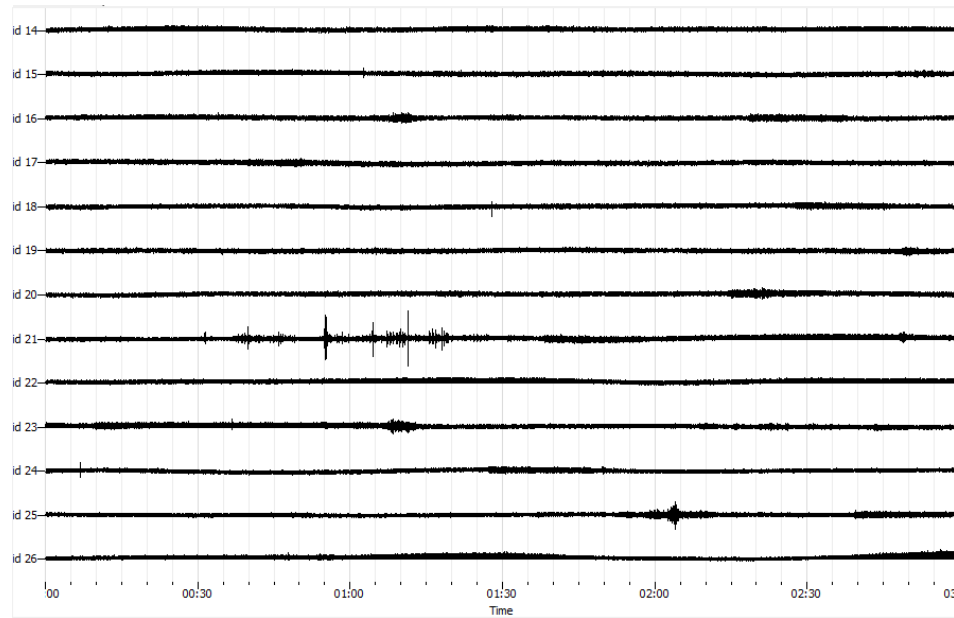
*Configuración para la instrumentación piso 4*



**Selección de datos.** Una vez obtenidas las lecturas de los acelerómetros se realiza el proceso de selección con la ayuda del software geopsy, verificando cual de todas las lecturas tiene el registro con menor ruido ambiental y obteniendo una base de datos lo más nítida posible para el procesamiento de datos en MATLAB. A continuación, se presentan las aceleraciones obtenidas por los sensores en sentido X y Y del punto A, en la figura 61 y 62 respectivamente, colocados en el segundo y cuarto piso.

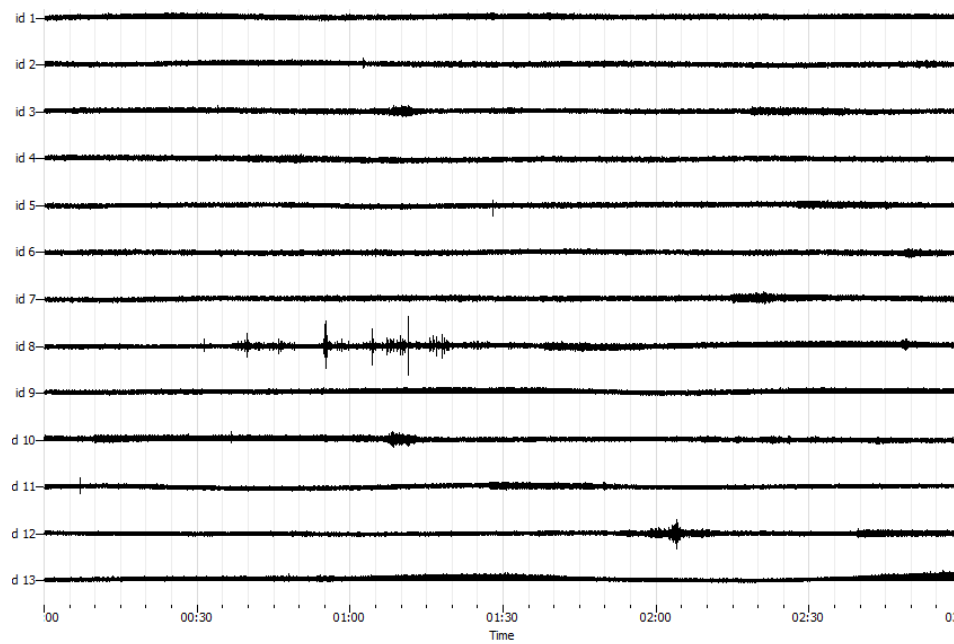
**Figura 61**

*Proceso de selección en Geopsy sentido X*



**Figura 62**

*Proceso de selección en Geopsy sentido Y*



Como se puede observar las lecturas 3,4 y 5 son los datos que menor ruido ambiental presentan.

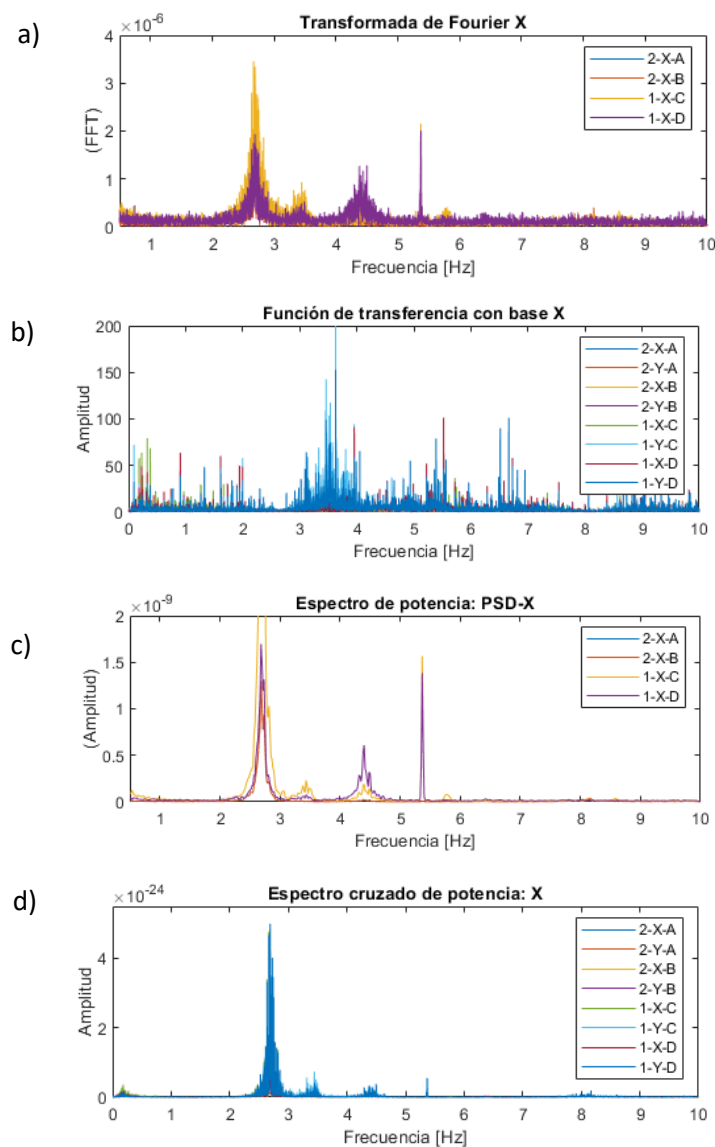
**Software MATLAB**

Teniendo definida cuales fueron las mejores lecturas se comienza con el procesamiento de datos en el software MATLAB. Para esta sección se utilizaron las herramientas de ventaneo, transformada de Fourier, función de transferencia (TF), densidad de potencia espectral (PSD) y espectro cruzado de potencia (CPS) (Arcentales & Yépez, 2020).

En las siguientes figuras se presentan las herramientas de selección para los sentidos “X” y “Y”.

**Figura 63**

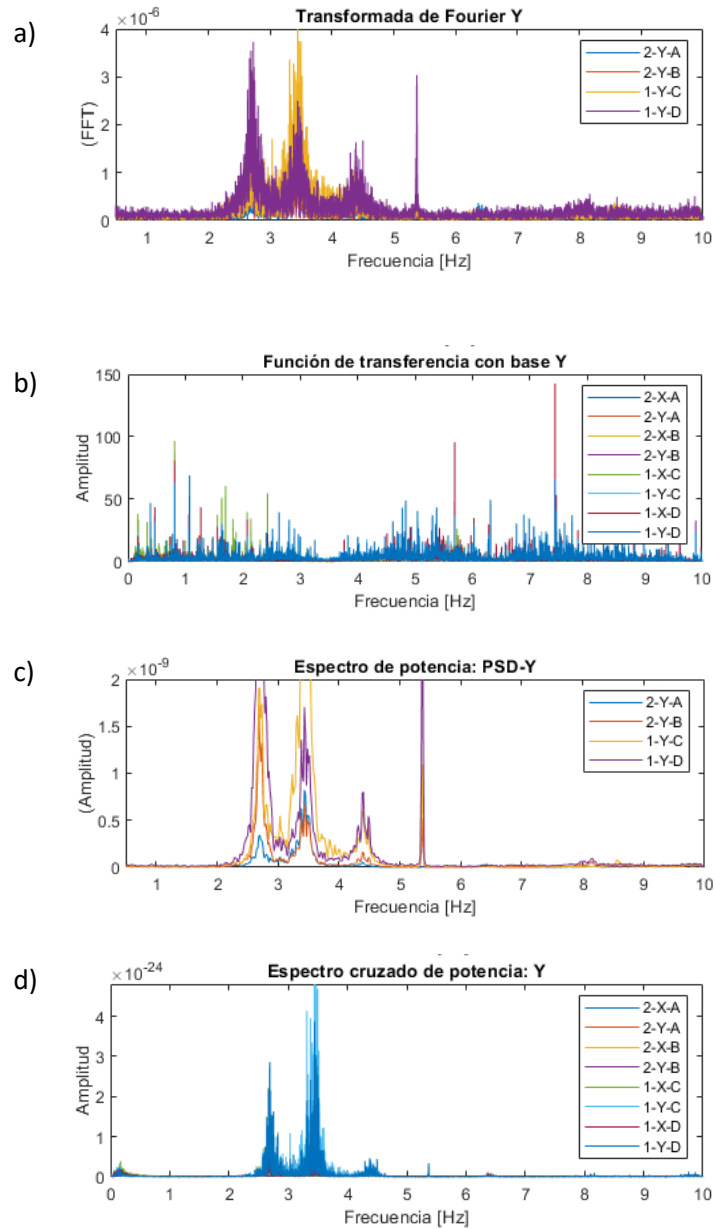
Herramientas de identificación en sentido “X”



*Nota:* a) Transformada de Fourier en sentido X, b) Función de transferencia con base X, c) Espectro de potencia en X, d) Espectro cruzado de potencia en X.

**Figura 64**

Herramientas de identificación en sentido “Y”





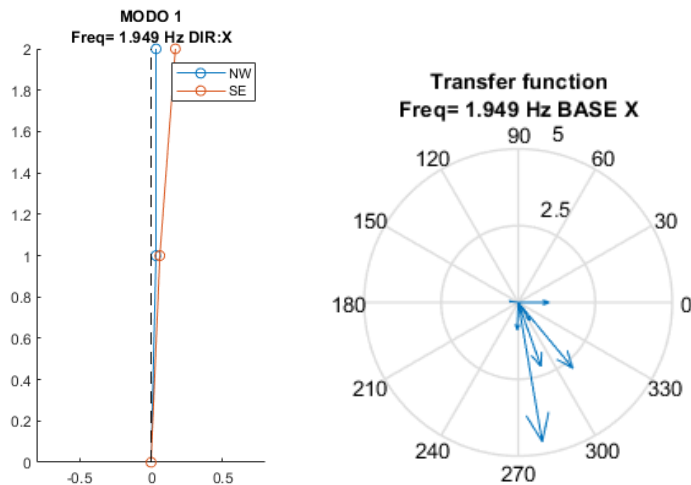
*Nota:* a) Transformada de Fourier en sentido Y, b) Función de transferencia con base Y, c) Espectro de potencia en Y, d) Espectro cruzado de potencia en Y.

Una vez identificados y señaladas las frecuencias comunes y características pertenecientes a los picos en las diferentes herramientas de identificación se procede a una selección manual y minuciosa mediante la función compass. La herramienta en mención permite verificar que cada configuración de los diferentes ángulos de los vectores correspondientes a la función de transferencia se encuentre en fase a partir de los cuales y mediante el método SRSS se obtienen los modos de vibrar de los pisos instrumentados.

En las figuras 65, 66 Y 67 se representan los tres primeros nodos de la edificación de análisis de la unidad educativa 2.

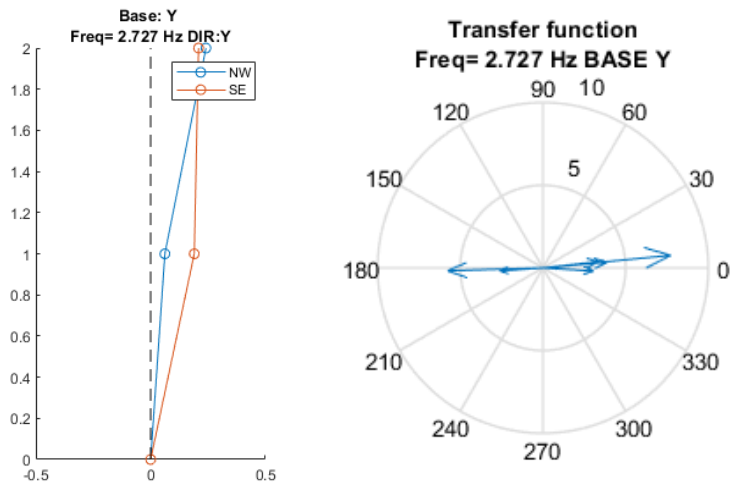
### Figura 65

*Primer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase*



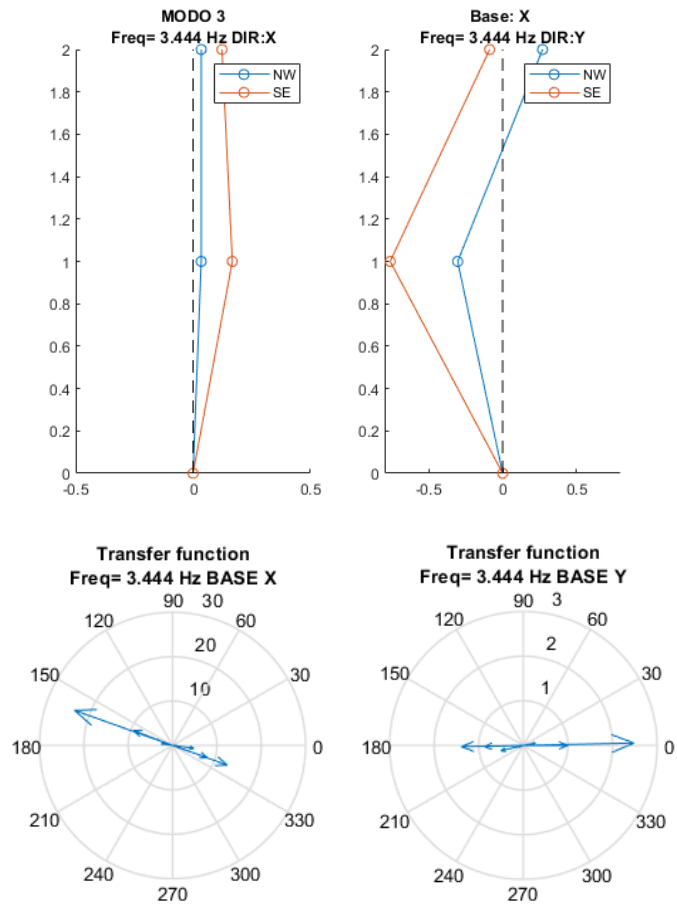
**Figura 66**

*Segundo modo de vibrar y verificación de ángulos de fase*



**Figura 67**

*Tercer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase*



De esta forma se determinan los tres primeros modos de vibración del bloque de estudio, cuyos valores se resumen en la Tabla 52.

### **Comparación con el modelo**

En el siguiente apartado se realiza una comparación entre los resultados obtenidos en los ensayos de vibración ambiental y los valores del modelo calibrado

**Tabla 52**

*Comparación de modos de vibración modelados y ensayados*

<b>Modelo Calibrado</b>			<b>Ensayo vibración ambiental</b>		
Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)	Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)
1	0,529	1,891	1	0,513	1,949
2	0,334	2,991	2	0,367	2,727
3	0,300	3,335	3	0,290	3,444

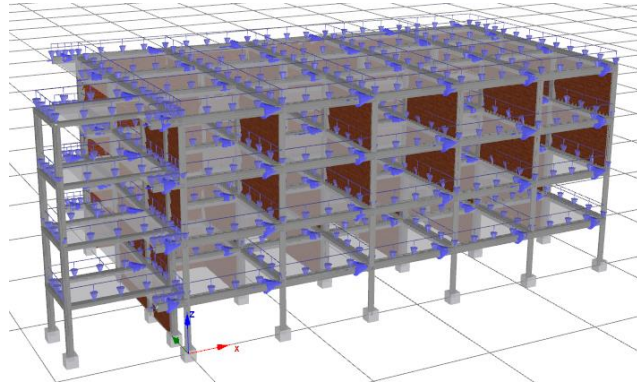
### **Resultados**

#### ***Análisis estático no lineal o pushover adaptativo basado en fuerzas***

A continuación, en la figura 68 y en la figura 70 se puede encontrar la distribución de cargas nodales para el pushover adaptativo, en el sentido X y Y respectivamente, mientras que en la figura 69 y en la figura 71 se visualizan las correspondientes curvas de capacidad para cada distribución.

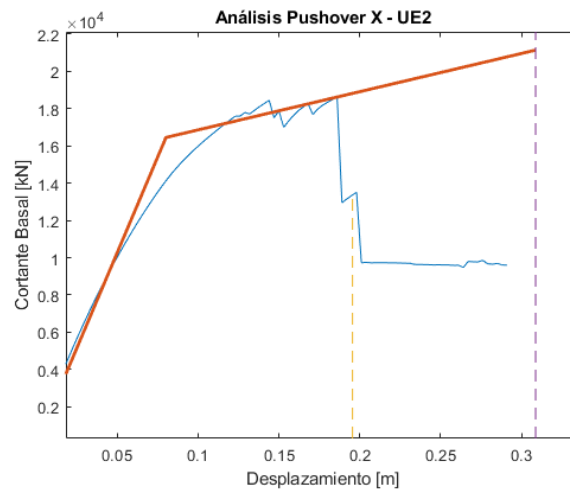
#### **Figura 68**

*Distribución de cargas laterales pushover adaptativo en sentido X*



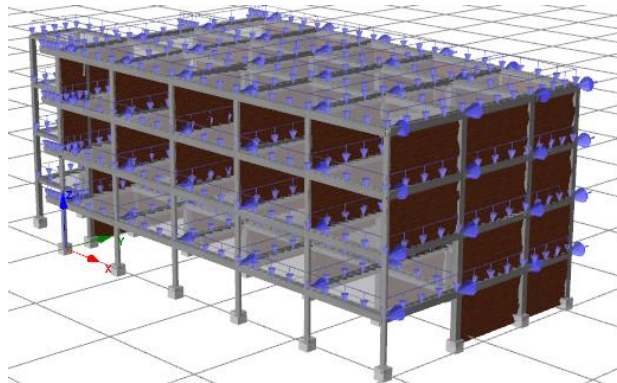
**Figura 69**

*Curva de capacidad del bloque pushover adaptativo X*



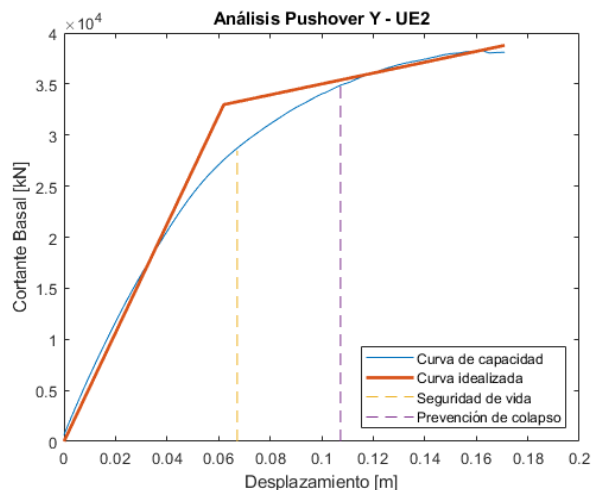
**Figura 70**

*Distribución de cargas laterales pushover adaptativo en sentido Y*



**Figura 71**

*Curva de capacidad del bloque pushover adaptativo Y*



### Resultados de los análisis

Considerando los resultados de los análisis, es posible afirmar que el lado "X" de la estructura es el más crítico por efectos de torsión con un desplazamiento máximo de 0,28 m antes de la pérdida de convergencia del modelo. Cabe destacar, que únicamente el sentido X cumple con los desplazamientos objetivos para seguridad de vida y prevención de colapso.

### Determinación de Tiempo de recuperación

#### **PACT**

De acuerdo a la metodología presentada en la FEMA P-58 es necesario una descripción completa de la estructura para empezar su evaluación de desempeño. Dado a este caso, en la tabla 53 se presentan los datos requeridos por la herramienta electrónica PACT como parte de la Información elemental de la estructura.

#### **Tabla 53**

*Información elemental de la estructura para análisis de determinación de tiempo de recuperación*

<i>Descripción</i>	<i>Valor</i>	<i>Observación</i>
Número de pisos	4	4 pisos, 1 terraza
Tiempo de Reemplazo	6 meses	
Máximo de Trabajores por Pie Cuadrado	0,01	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Umbral de Pérdida Total	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Área de Nivel +0,00	420,51	m <sup>2</sup>
Área de Nivel +2,70	420,51	m <sup>2</sup>
Área de Nivel +5,60	420,51	m <sup>2</sup>
Área de Nivel +8,50	420,51	m <sup>2</sup>
Área de Nivel +11,40	420,51	m <sup>2</sup>
Altura del primer piso	2,7	m
Altura de entrepiso	2,9	m
Factor de Altura	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de Materiales Peligrosos	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de ocupación	1,1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.9
Tipo de ocupación	Unidad Educativa	Modelo poblacional "Education"

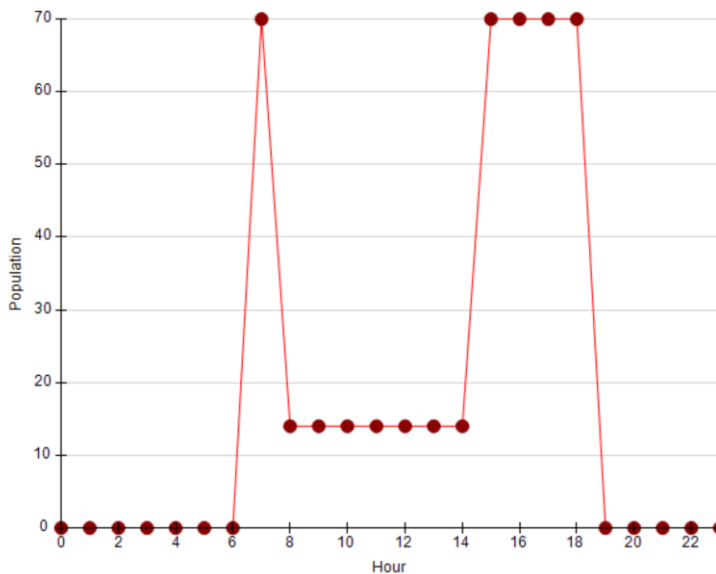
*Nota:* Valores complementarios tomados de (FEMA P58-1, 2018)

### ***Modelo Poblacional***

El modelo poblacional para la estructura de estudio se denomina “Education (k-12): Elementary Schools”, este modelo según la metodología FEMA P-58 se define para escuelas y colegios (FEMA, 2018). Para el presente análisis se tomó un máximo de 25 personas por cada 1000 pies cuadrados (92,90 m<sup>2</sup>). La figura 72 representa de manera gráfica la distribución horaria de la ocupación durante un día.

### **Figura 72**

*Distribución horaria de la población*



*Nota:* Gráfica recuperada del programa PACT (FEMA, 2018)

### **Grupos de Fragilidades**

La FEMA P-58 en su base de datos presenta diferentes grupos de fragilidad dependiendo del material y también a las partes que representa la estructura. Para el siguiente análisis se utilizaron los siguientes grupos de fragilidades:

- B104: Elementos de concreto reforzado
  - B1041.002a: ACI-318 IMF Conc Col & Bm = 24" x 24". Beam one side
  - B1041.002b: ACI-318 IMF Conc Col & Bm = 24" x 36". Beam both sides
- B105: Elementos verticales de mampostería
  - B1051.001: Ordinary reinforced masonry walls with partially grouted cells, shear dominate, 4" to 6" thick. Up to 12 foot tall
- B202: Sistemas de ventanas exteriores
  - B2022.001: Curtain wall-generic midrise Stick-Built Curtain wall
- B304
  - B3041.001: Masonry Parapet – unreinforced, unbraced

- C201: Escaleras
  - C2011.021b: Monolithic cast-in-place and precast concrete stairs with no seismic joints - replace in kind if replacement is required.
- C303: Techos e iluminación de techo
  - C3034.001: Independent Pendant Lighting – non seismic

### Grupo de desempeño

Los grupos de desempeño presentados en la tabla 54 fueron distribuidos a partir de la metodología seleccionada y corresponden al bloque de la Unidad Educativa 2.

**Tabla 54**

### Grupos de desempeño del piso 1, 2 y 3

GRUPOS DE DESEMPEÑO BLOQUE DE LA UNIDAD EDUCATIVA 2														
Piso:	1			Education (k-12): Elementary Schools	Piso:	2			Education (k-12): Elementary Schools	Piso:	3			Education (k-12): Elementary Schools
Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D			
<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>						
B1041.022a	Each	9	SDR	B1041.022a	Each	9	SDR	B1041.022a	Each	9	SDR			
B1041.022b	Each	18	SDR	B1041.022b	Each	18	SDR	B1041.022b	Each	18	SDR			
B1051.001	Each	12	SDR	B1051.001	Each	12	SDR	B1051.001	Each	20	SDR			
B2022.001	Each	5	SDR	B2022.001	Each	5	SDR	B2022.001	Each	13	SDR			
C2011.021b	Each	1	SDR	C2011.021b	Each	1	SDR	C2011.021b	Each	1	SDR			
<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>						
B1041.022a	Each	14	SDR	B1041.022a	Each	14	SDR	B1041.022a	Each	14	SDR			
B1041.022b	Each	13	SDR	B1041.022b	Each	13	SDR	B1041.022b	Each	13	SDR			
B1051.001	Each	17	SDR	B1051.001	Each	17	SDR	B1051.001	Each	12	SDR			
B2022.001	Each	3	SDR	B2022.001	Each	3	SDR	B2022.001	Each	3	SDR			
C2011.021b	Each	1	SDR	C2011.021b	Each	1	SDR	C2011.021b	Each	1	SDR			
<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>						
C3034.001	Each	52	ACC	B3041.001	Each	12	ACC	B3041.001	Each	7	ACC			
				C3034.001	Each	52	ACC	C3034.001	Each	52	ACC			

Abreviaturas:  
 P.D.: Parámetro de demanda  
 SDR: Story Drift Ratio  
 ACC: Acceleration

\* Se trabaja con el modelo poblacional "Education (k-12): Elementary Schools" propuesto por el FEMA P-58

**Tabla 55**

### Grupos de desempeño del piso 4 y terraza



<b>GRUPOS DE DESEMPEÑO BLOQUE DE LA UNIDAD EDUCATIVA 2</b>							
Piso:	4	Education (k-12): Elementary Schools		Piso:	Cubierta	Education (k-12): Elementary Schools	
Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D
<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>			
B1041.022a	Each	9	SDR				
B1041.022b	Each	18	SDR				
B1051.001	Each	20	SDR				
B2022.001	Each	13	SDR				
C2011.021b	Each	1	SDR				
<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>			
B1041.022a	Each	14	SDR				
B1041.022b	Each	13	SDR				
B1051.001	Each	12	SDR				
B2022.001	Each	3	SDR				
C2011.021b	Each	1	SDR				
<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>			
B3041.001	Each	7	ACC	B3041.001	Each	21	ACC
C3034.001	Each	52	ACC				
<b>Abreviaturas:</b>							
P.D.:	Parámetro de demanda						
SDR:	Story Drift Ratio			* Se trabaja con el modelo poblacional "Education (k-12): Elementary Schools" propuesto por el FEMA P-58			
ACC:	Acceleration						

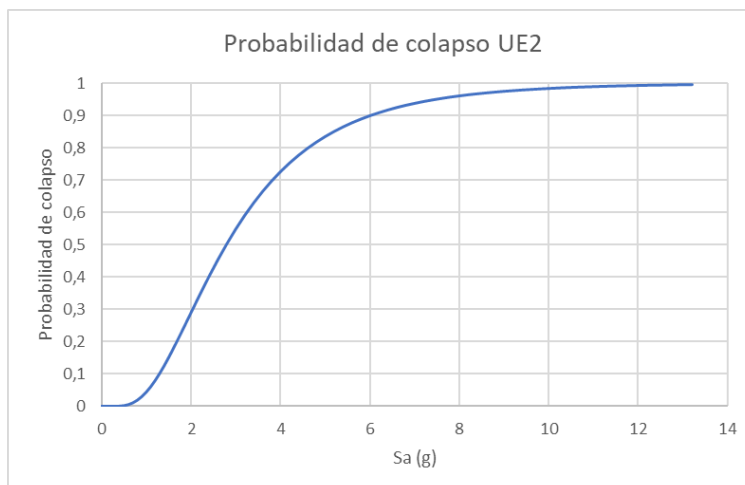
### **Curva de fragilidad**

Una vez obtenido los resultados del análisis no lineal estático adaptativo, la curva de capacidad se introduce en la herramienta electrónica SPO2IDA provista por el FEMA P-58 V-3, para transformar los resultados a un aproximado de un análisis incremental dinámico.

Esta herramienta electrónica calcula la aceleración media de colapso para este caso es de 2,79 g, la cual es asignada a una dispersión de 0,6, estos resultados permiten calcular la curva de fragilidad de la estructura presentada en la figura 73 (FEMA P58-1, 2018).

### **Figura 73**

*Curva de fragilidad de la estructura*



### **Modos de colapso**

Los modos de colapso se pueden fragmentar de varias formas, como pueden ser el colapso local de uno o más pisos, e incluso el colapso total de la edificación. Cada uno de los modos determinados para la edificación se obtiene bajo su respectiva probabilidad de ocurrencia (Untuña, 2021). Para la presente estructura se consideró un único modo de colapso el cual representa el colapso total de la estructura y nuestra probabilidad de ocurrencia es 1 que representa el 100%.

**Tabla 56**

*Grupos de desempeño del bloque*

<i>Consecuencias del colapso</i>				
<b>Piso</b>	<b>Tasa de mortalidad Media</b>	<b>Tasa de mortalidad COV</b>	<b>Tasa de lesiones Media</b>	<b>Tasa de lesiones COV</b>
4	1	0,5	1	0,5
3	1	0,5	1	0,5
2	1	0,5	1	0,5
1	1	0,5	1	0,5

## Resultados

### *Resultados del análisis estructural*

Finalmente es necesario llevar a cabo un análisis estático lineal con las fuerzas aproximadas del cortante basal para así obtener las derivas del piso y corregirlas en base de las fórmulas presentadas en el código ASCE 41-17. En la tabla 57 se indica un resumen de los resultados del análisis estático lineal.

**Tabla 57**

*Cuadro resumen de los resultados del análisis estático lineal*

<i>Resultados análisis estático</i>			
<b>Piso</b>	<b>Deriva de piso-X</b>	<b>Deriva de piso-Y</b>	<b>Aceleración (g)</b>
Terraza	N/A	N/A	2,327189138
4	0,004780297	0,00254117	2,350392213
3	0,006246033	0,0028357	2,373826633
2	0,000806376	0,00325517	2,397494704
1	0,010467545	0,00452111	1,550000000
Dispersión	0,255	0,255	0,269

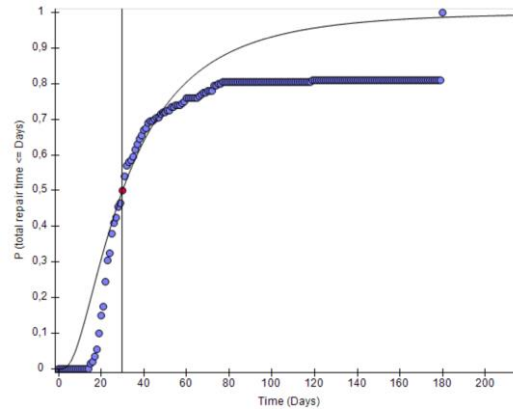
Para el presente análisis no se consideró el cálculo de la deriva residual en la determinación del tiempo de recuperación de la estructura.

### *Resultados herramienta PACT*

La herramienta PACT presenta distintos cálculos, uno de ellos es la secuencia y evaluación del desempeño de la estructura en función del tiempo y costo, el cual se utilizará para el siguiente estudio. La figura 74 representa la curva de probabilidad de un tiempo de recuperación para sus respectivos grupos de fragilidad. El tiempo considerado está basado en la hipótesis que las reparaciones se realizan paralelamente en todos los niveles de la estructura.

**Figura 74**

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio*



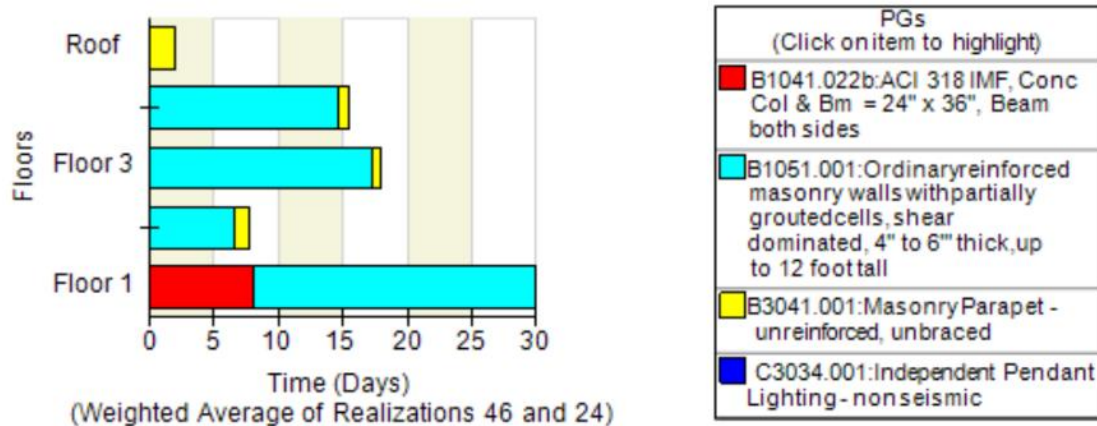
*Nota:* Se considera el tiempo de recuperación paralelo de piso

En la figura 75, se puede apreciar un tiempo medio de reparación de 30 días aproximadamente.

La figura 75 muestra los grupos de fragilidad involucrados, así como su tiempo paralelo de reparación en base de los niveles de daño determinados por la herramienta.

**Figura 75**

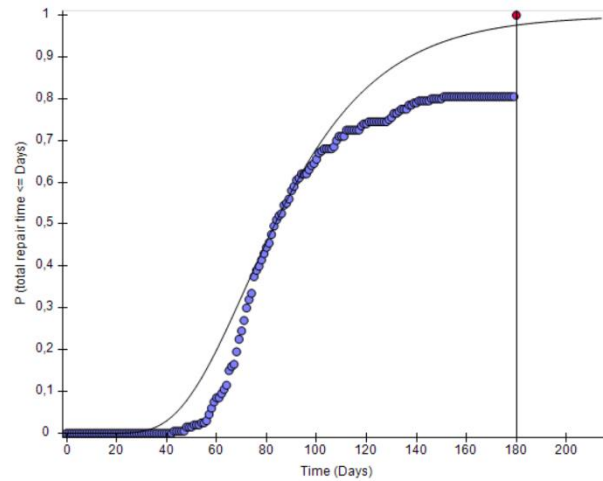
*Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación*



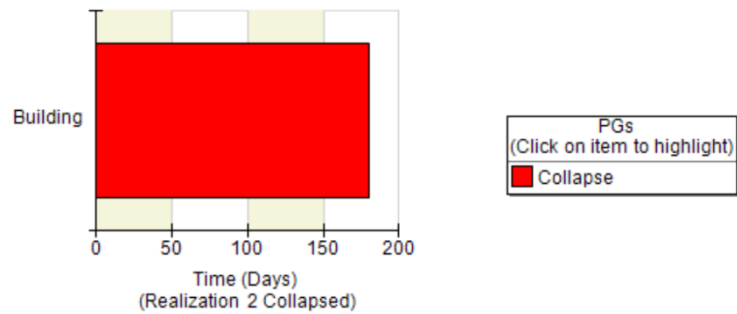
En los distintos escenarios planteados por la herramienta PACT, el peor de los casos está representado por la mayor cantidad de daños basados en la intensidad del espectro de diseño mayorado 1,3 veces por el factor de importancia. Para este caso la estructura llegó al colapso antes de llegar a dicha intensidad como se representa en las figuras 76 y 77 que indican el colapso del edificio.

**Figura 76**

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación*

**Figura 77**

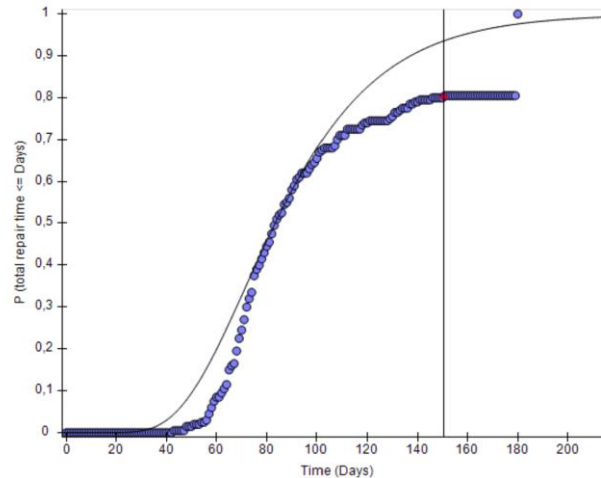
*Grupo de fragilidad de daño en todo el edificio*



La herramienta PACT también consideró un escenario previo al colapso en el cual aún existe la posibilidad de reparar el edificio determinando en la curva de probabilidad de excedencia un tiempo de 150 días presentado en la figura 78.

**Figura 78**

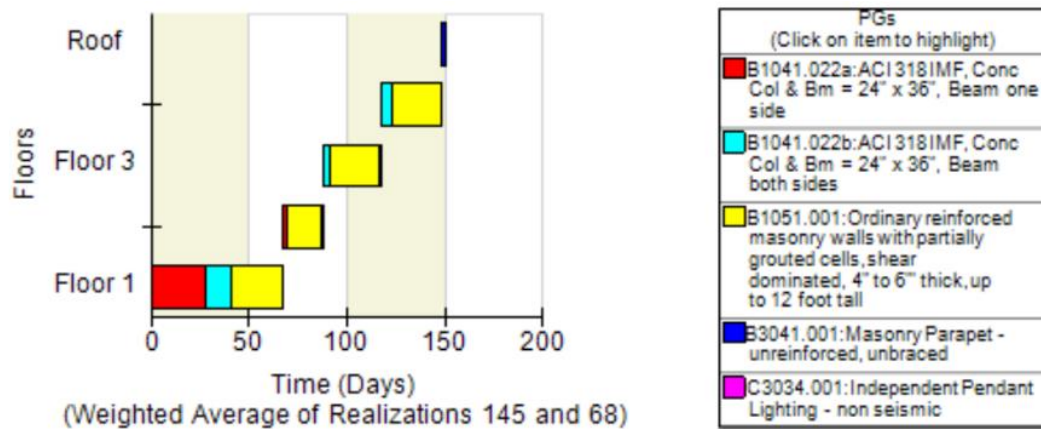
*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el peor de los casos*



De la misma manera se representó en la figura 79, los grupos de fragilidad involucrados, así como su respectivo tiempo de recuperación.

**Figura 79**

*Grupos de fragilidad y tiempo serial de reparación en el peor de los casos*



### Resumen de los resultados

Para un caso promedio el tiempo de recuperación del bloque de la UE2 fue aproximadamente 30 días siendo los grupos de fragilidad B1041.022b y B1051.001 los más afectados, en cambio, para el peor de los casos el tiempo de recuperación de la estructura es de alrededor de 150 días en el cual se tiene que reparar todos los grupos de fragilidad.

### Recomendaciones específicas Unidad Educativa 2

Conforme a los resultados obtenidos respecto al nivel de amenaza sísmico existente donde se consideró el sismo de diseño y máximo considerado de la edificación, incrementados en un treinta por ciento, para los objetivos de desempeño BSE-1-Seguridad de vida y BSE-2-Prevención de colapso, se generan las siguientes recomendaciones para la UE2 esperando alcanzar completamente los niveles de desempeño básicos, especialmente en lo que respecta a seguridad de vida, y mejorar el tiempo de reocupación de la estructura.

- Uno de los principales problemas en esta unidad educativa tiene que ver con la mampostería y la disposición de esta, ya que se trata de mampostería no aislada que ocasiona una modificación de rigidez considerable en la estructura, adicional la disposición de esta ocasiona que la estructura sea mucho más fuerte en el sentido transversal, y dejando muy débil al sentido longitudinal. Por lo tanto, el correcto aislamiento de mamposterías y una distribución equilibrada de esta en ambos sentidos representaría una gran mejora en el edificio ya que reduciría significativamente el daño en los demás elementos estructurales.
- De acuerdo a la herramienta computacional PACT la mampostería es el elemento que mayor daño sufre y por lo tanto tiende a destruirse representando un gran peligro para los ocupantes, por lo que es prioritario su aislamiento del sistema estructural, como otras alternativas que modifiquen el periodo de la estructura, disminuyan su carga reactiva, mejoren el desempeño estructural y por ende provean seguridad a sus ocupantes se recomienda utilizar otro tipo de elementos divisorios (gypsum, Steel framing) para las aulas, especialmente en aquellas paredes que no sean perimetrales, para salvaguardar la vida de los ocupantes.

- Para mejorar el tiempo de recuperación en un 35% y reducir la tasa de accidentalidad se recomienda un mejor diseño de elementos no estructurales como mamposterías, antepechos y una mejor selección de los elementos destinados a iluminación.
- La presencia del bloque de escaleras construido monolíticamente junto con el bloque de aulas es una fuente de torsión considerable y que ocasiona grandes desplazamientos en el primer y segundo piso de la estructura. De acuerdo a lo antes mencionado, separar el bloque de escaleras del bloque de aulas con una respectiva junta constructiva representaría una mejora muy significativa en el comportamiento y desempeño estructural del edificio frente a un evento sísmico.
- Para las dimensiones y características del bloque de estudio se considera que las secciones de las columnas resultan insuficientes, como se pudo observar y determinar en el software SeismoStruct donde las columnas del primer y segundo piso son los primeros elementos en fallar y por ende ocasionar el colapso de la estructura; por esta razón realizar un estudio para el reforzamiento de las columnas en estos pisos de conflicto mejoraría significativamente el comportamiento estructural del edificio.



## Capítulo 8

### Unidad Educativa 3

La edificación seleccionada para el análisis del objetivo 3 del presente proyecto corresponde la Unidad Educativa 3 corresponde a los dos bloques de laboratorios de mecánica y energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas, estos se ubican en la zona Oeste del campus matriz junto al anillo vial en la ciudad de Sangolquí. Se han definido las coordenadas geográficas de cada bloque, como se observa en la Tabla 58.

**Tabla 58**

*Coordenadas geográficas de UE3*

<b>Edificación</b>	<b>Punto</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
<b>Bloque 1</b>	A	0°18'47,27"S	78°26'46,06"O
	B	0°18'47,34"S	78°26'47,01"O
	C	0°18'48,01"S	78°26'48,14"O
	D	0°18'48,11"S	78°26'47,08"O
<b>Bloque 2</b>	E	0°18'47,20"S	78°26'48,73"O
	F	0°18'47,27"S	78°26'48,09"O
	G	0°18'48,57"S	78°26'48,88"O
	H	0°18'48,64"S	78°26'48,15"O

*Nota:* Coordenadas de esquinas que forman parte del bloque 1 y bloque 2 de la UE3.

**Figura 80**

*Edificación de análisis y nomenclatura de coordenadas*



*Nota:* Mapa de ubicación de la Unidad Educativa 3.

### **Referencia arquitectónica y estructural**

La información arquitectónica y estructural de las edificaciones se obtuvo mediante la visita en campo y a través de los planos estructurales que se adquirieron en el Departamento de Desarrollo Físico de la Unidad Educativa. Se destaca que el diseño de la estructura fue previsto para una sola planta, como lo certifica los planos. Sin embargo, según el personal del departamento de desarrollo físico se replicó el diseño de la primera planta para la construcción del segundo nivel.

### **Figura 81**

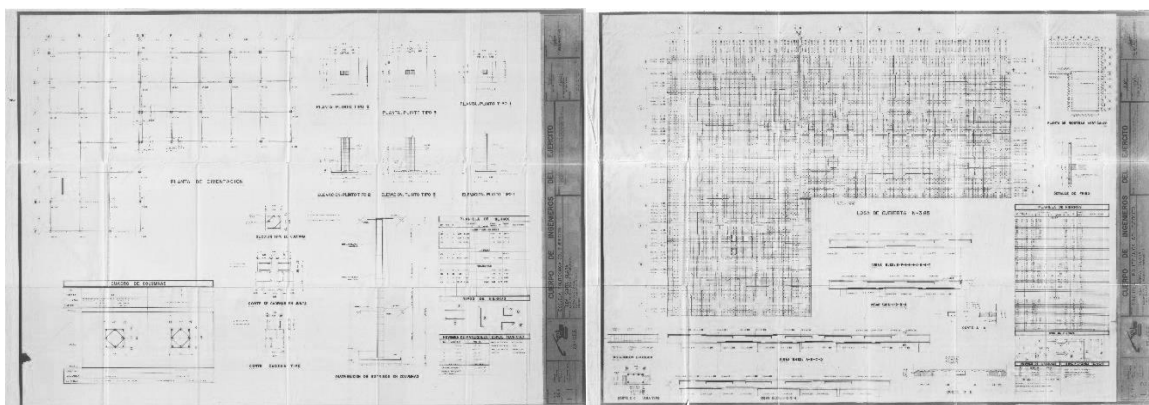
*Obtención de planos en desarrollo físico de la UE3*



*Nota:* Evidencia de la obtención de planos estructurales en desarrollo físico de UE3.

**Figura 82**

*Planos estructurales de la UE3*



*Nota:* Planos estructurales en físico de la Unidad Educativa 3.

### **Descripción general**

La Unidad Educativa 3 está conformada por dos bloques estructurales cuya junta los distancia 5 cm, cada bloque cuenta con dos plantas y una cubierta accesible. Esta estructura también presenta patologías estructurales razón por la que se sustenta la realización de este estudio enfocado en centros educativos para estructuras de ocupación especial.

El sistema está constituido por pórticos de hormigón armado con vigas embebidas o tipo banda. Los pórticos están separados por vanos de 6,30 m entre sí, además los niveles superiores tienen un volado de 2 metros de largo en todo el perímetro.

La ocupación de la estructura está dividida según los laboratorios, cada uno cuenta con un jefe de laboratorio. Los laboratorios que operan en esta estructura son: Reología, Hidráulica y Fluidos, Energías, Procesos de Mano Factura y Motores. Dependiendo de cada tipo de laboratorio las cargas de servicio de la estructura varían según la maquinaria y equipos que se utilizan.

### **Figura 83**

*Vista aérea de los laboratorios de la UE3*



*Nota:* Vista aérea de Unidad Educativa 3 a través de drone.

### **Tipo de suelo**

La clasificación del suelo usado en este análisis corresponde al tipo “D” mismo que fue determinado por (BARONA & GUTIÉRREZ, 2017) en su estudio “Análisis Estructural y Propuesta de Alternativas de Reforzamiento para el Laboratorio del Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE” en el cual se realizó el estudio sobre la refracción sísmica para establecer de acuerdo al suelo su tipo.

### Zona sísmica

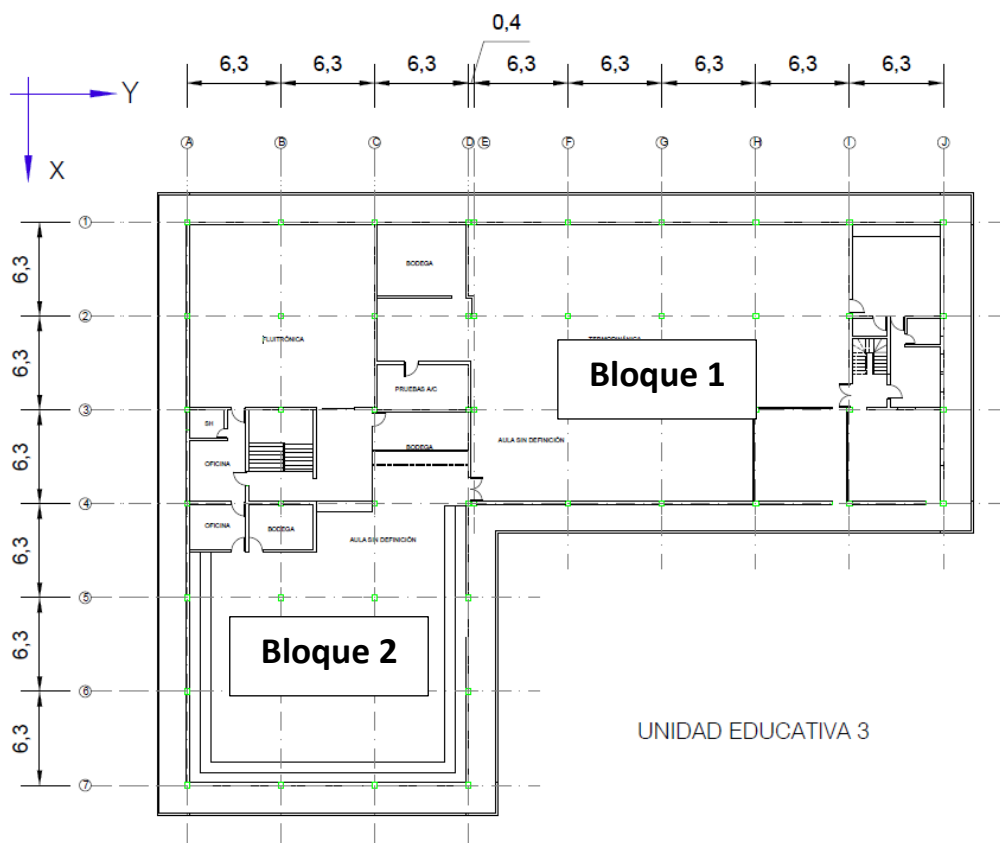
En base a la normativa ecuatoriana NEC-SE-DS la Unidad Educativa 3 se encuentra catalogada en una zona sísmica V, el cual representa un valor en el factor Z de 0,40 mismo que clasifica a la estructura dentro de una zona con alto peligro sísmico.

### Descripción en planta

Esta estructura está conformada por dos bloques cuyo lado largo está en sentidos opuestos. Se consideran como ejes globales, el “eje X” en la vertical y el “eje Y” el horizontal conforme a la implantación presentada en los planos, como se puede ver en la Figura 84.

**Figura 84**

*Vista en planta de UE3*



*Nota:* Vista en planta y especificación de ejes de Unidad Educativa 3.

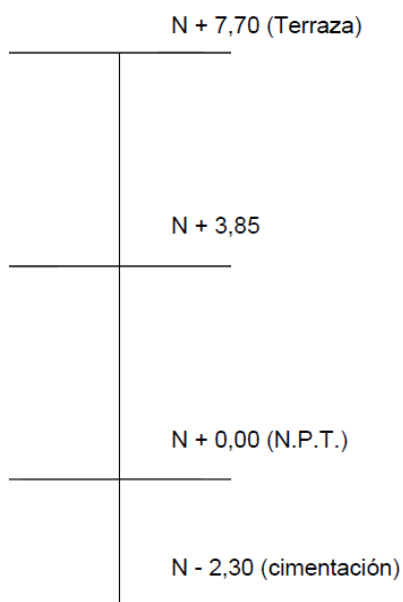
El bloque 1 se compone de 6 pórticos en el eje X con 3 vanos y 4 pórticos en el eje Y con 6 vanos. El bloque 2 presenta 4 pórticos en sentido X con 5 vanos y 7 pórticos en sentido Y con 3 vanos. Los vanos tienen una longitud de 6,30 m y los volados 2,00 metros, entre los bloques se encuentra una junta de 5 cm.

### Descripción del edificio en elevación

Cada bloque tiene 2 niveles, su altura de entre piso de cada nivel es 3,85 m y posee una profundidad de cimentación de 2,30 m como se observa en la Figura 85.

### Figura 85

*Esquema niveles de la estructura*



*Nota:* Esquema de altura de niveles del bloque 1 y bloque 2 de la UE 3.

### Patologías estructurales

La estructura del bloque 2 presenta grietas en elementos de mampostería, las fallas no están presentes en elementos estructurales, únicamente en las paredes de mampostería. La posible causa de las fallas sería por hundimiento en el extremo izquierdo del bloque, sin embargo,

se requiere un estudio de suelos más minucioso para corroborar el estado real del suelo (BARONA & GUTIÉRREZ, 2017).

Con lo mencionado anteriormente se aclara que el presente estudio, se delimita al análisis de la superestructura, tomando el tipo de suelo presentado en el trabajo de (BARONA & GUTIÉRREZ, 2017). Los resultados determinados de la investigación contribuirán en el estudio global de la resiliencia de las estructuras.

### Dimensiones de elementos estructurales

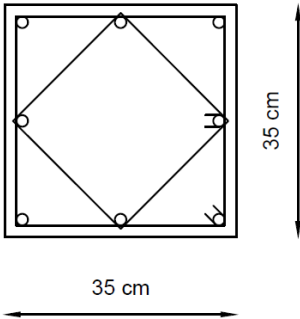
Los bloques cuentan con un único tipo de columnas y vigas para los elementos estructurales, debido a la construcción simétrica y homogénea de cada bloque.

### Secciones de columnas

La sección de todas las columnas es de tipo cuadrada de 35cm x 35cm, teniendo un mismo armado longitudinal y transversal. Esto se observa en la Tabla 59.

**Tabla 59**

*Secciones de columnas de laboratorios de la UE3*

N.º de columnas	Armado	Esquema
48	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 8Ø20mm</li> <li>1EØ10mm@8 y 17cm</li> </ul>	

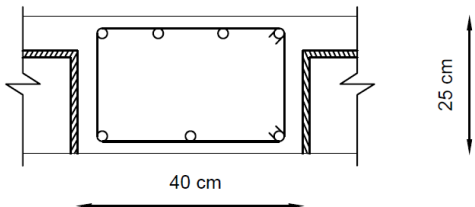
*Nota:* Secciones y armado de columnas de la UE3.

### **Secciones de vigas**

La sección de las vigas es de tipo rectangular de 40cm x 25cm, así como las que sostienen a los volados. Todas están embebidas o son tipo banda, es decir, tienen la misma altura de losa. En la Tabla 60 se especifica a mayor detalle la configuración de las mismas.

**Tabla 60**

*Secciones de vigas de laboratorios de la UE3*

Armado	Esquema
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6Ø14mm</li> <li>1EØ8mm@8 y 12cm</li> </ul>	 <p>El diagrama muestra un corte transversal de una viga rectangular. El ancho total de la viga es de 40 cm, indicado por una línea horizontal con flechas en la parte inferior. La altura total de la viga es de 25 cm, indicada por una línea vertical con flechas a la derecha. El interior de la viga está dividido por nervios que forman una estructura de banda. Se muestran seis barras de refuerzo circulares distribuidas en la parte superior y una barra de refuerzo en la parte inferior. Las barras superiores están espaciadas de 8 cm y 12 cm.</p>

*Nota:* Secciones y armado de vigas de la UE3.

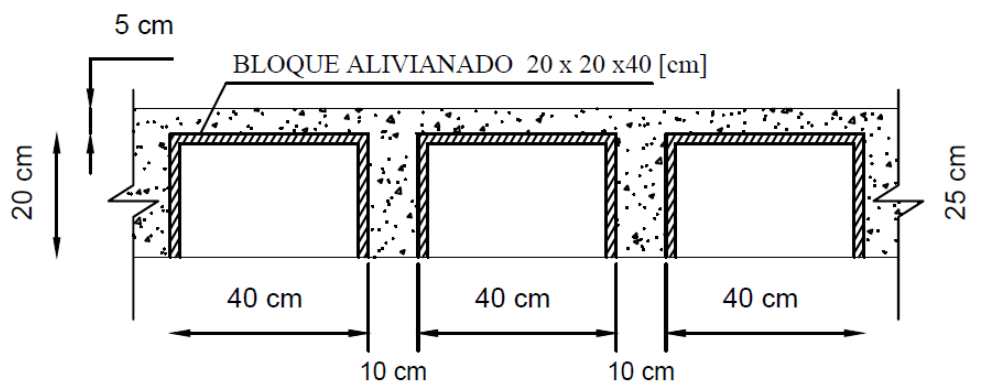
### **Características de las losas**

La edificación cuenta con losas bidireccionales alivianadas con una altura de 25 cm. El espesor de su carpeta de compresión es de 5 cm, con nervios de 10 cm de ancho y 20 cm como altura. El corte típico se observa en la Figura 86.

**Figura 86**

*Corte típico de losa de la UE3*





*Nota:* Altura y dimensiones de losa y alivianamientos de la Unidad Educativa 3.

### **Materiales**

Los materiales como el hormigón y acero, presentan sus propiedades en los planos correspondientes, estos se detallan en la Tabla 61.

**Tabla 61**

*Propiedades de los materiales en el plano de los bloques 1 y 2*

<b>Parámetro</b>	<b>Terminología</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Resistencia del Hormigón	$f'c$	210	$kg/cm^2$
Límite de fluencia del acero	$f_y$	4200	$kg/cm^2$

*Nota:* Resistencias de los materiales en la Unidad Educativa 3.

### **Análisis de cargas**

#### ***Cargas permanentes***

Las cargas permanentes corresponden al peso de elementos estructurales. Para determinar el mismo se han considerado las dimensiones vistas en el plano y corroboradas en la inspección, la carga se distribuye en el área actuante.

#### ***Peso de vigas***

El peso propio de las vigas se calculó midiendo su longitud y multiplicando por su sección transversal. La Tabla 62 presenta el peso de vigas del bloque 1 y 2.

**Tabla 62***Cálculo de peso de vigas UE3 – Bloque 1 y 2*

<b>Cálculo de peso propio de vigas - Bloque 1</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área sección V40x25	0,10	m <sup>2</sup>
Longitud	255,30	m
Volumen	25,53	m <sup>3</sup>
Peso específico	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso total de vigas	612,72	kN
Área de piso	768,22	m <sup>2</sup>
<b>Peso total de vigas</b>	<b>0,80</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

<b>Cálculo de peso propio de vigas - Bloque 2</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área sección V40x25	0,10	m <sup>2</sup>
Longitud	300,60	m
Volumen	30,06	m <sup>3</sup>
Peso específico	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Peso total de vigas	721,44	kN
Área de piso	911,91	m <sup>2</sup>
<b>Peso total de vigas</b>	<b>0,79</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

*Nota:* Peso propio de vigas de laboratorios de la UE3.

### **Peso de columnas**

El cálculo del peso propio de columnas sigue el proceso ya mencionado en el cálculo para vigas. La Tabla 63, detalla los resultados calculados a partir de su geometría general.

**Tabla 63***Cálculo de peso de columnas UE3 – Bloque 1 y 2*

<b>Cálculo de peso propio de columnas - Bloque 1</b>		
<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área sección C 35x35	0,12	m <sup>2</sup>
Longitud	3,85	m
Número de columnas	24,00	-
Peso propio	11,32	kN
Peso total de columnas	271,66	kN
Área de piso	768,22	m <sup>2</sup>
<b>Peso total de columnas</b>	<b>0,35</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

<b>Cálculo de peso propio de columnas - Bloque 2</b>		
<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área sección C 35x35	0,12	m <sup>2</sup>
Longitud	3,85	m
Número de columnas	28,00	-
Peso propio	11,32	kN
Peso total de columnas	316,93	kN
Área de piso	911,91	m <sup>2</sup>
<b>Peso total de columnas</b>	<b>0,35</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

*Nota:* Peso propio de columnas de laboratorios de UE3.

### ***Peso de losa***

Para este caso se determinará el peso característico de un metro cuadrado de losa conformada por bloques alivianados de 20cm x 20cm x 40cm con una densidad de 8,5 kN/m<sup>3</sup> de acuerdo con la normativa NEC-SE-CG. Los pesos obtenidos por losa se encuentran en la Tabla 64.

**Tabla 64**

*Cálculo de peso de losa UE3 – bloque 1 y 2*

<b>Cálculo de peso propio de losa</b>		
<b>Dato</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Peso esp. De hormigón	24	kN/m <sup>3</sup>
Peso esp. De bloques	8,5	kN/m <sup>3</sup>
Peso de carpeta de compresión	1,2	kN/m <sup>2</sup>
Peso de nervios	1,728	kN/m <sup>2</sup>
Peso de alivianamiento	1,088	kN/m <sup>2</sup>
<b>Peso total de losa</b>	<b>4,02</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

*Nota:* Peso propio de losas de laboratorios de UE3.

### ***Peso de paredes***

El peso de la mampostería se lo obtuvo verificando el volumen total de bloques que componen la mampostería en la edificación y multiplicando por el peso específico del material que los compone, a partir de la configuración arquitectónica comprobada en sitio. Se considera

que las paredes de mampostería se distribuyen en paredes interiores y parapeto en los volados, dado esto se considera la carga que se aplica en las vigas según la mampostería. Los pesos de mampostería se detallan en la Tabla 65.

**Tabla 65**

*Cálculo de peso de mampostería UE3 – Bloque 1 y 2*

<b>Cálculo de peso propio de paredes - Bloque 1</b>		
Espesor	0,08	m
Alto	2,50	m
Longitud	208,25	m
Peso mampostería	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Área de losa	768,22	m <sup>2</sup>
<b>Peso propio de bloques</b>	<b>1,30</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Cálculo de peso propio de paredes - Bloque 2</b>		
Espesor	0,08	m
Alto	2,50	m
Longitud	255,85	m
Peso mampostería	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Área de losa	911,91	m <sup>2</sup>
<b>Peso propio de bloques</b>	<b>1,35</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Cálculo de peso propio de mampostería - Paredes</b>		
Espesor	0,08	m
Alto	1,75	m
Longitud	88,63	m
Peso mampostería	24,00	kN/m <sup>3</sup>
Área de losa	771,16	m <sup>2</sup>
<b>Peso propio de bloques</b>	<b>0,39</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

*Nota:* Peso propio de mampostería de los laboratorios de UE3.

***Peso de acabados***

La determinación del aporte de los acabados ha considerado los elementos del entrepiso como la cerámica, su alisado y el mortero. La cubierta al contar también con acabados se conservará la misma carga que en los entrepisos, en la Tabla 66 se detalla el aporte de este parámetro.

**Tabla 66**

*Detalle de pesos por acabados UE3 – Bloque 1 y 2*

<b>Componente</b>	<b>Peso unitario (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso calculado (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Cerámica	18,00	$1 * 1 * 0,01 * 18 = 0,18$
Mortero + Enlucido	22,00	$1 * 1 * 0,02 * 22 = 0,44$
<b>Total</b>		<b>0,62</b>

*Nota:* Peso de acabados de los laboratorios de UE3.

### ***Cargas temporales***

En función a la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG, las cargas temporales o también cargas vivas dependen de la ocupación o uso de la edificación. Los laboratorios en estudio presentan una característica particular, ya que además de servir como centros educativos, abarca en sus interiores máquinas y equipamiento necesarios para la impartición de diferentes cátedras. En función de esto, se adoptó las cargas mínimas establecidas por la normativa para fábricas/industria/Manufactura con la clasificación liviana, oficinas y adicionalmente la cubierta. Lo mencionado se detalla en la Tabla 67.

**Tabla 67**

*Cargas temporales de acuerdo a NEC-SE-CG*

<b>Ocupación o Uso</b>	<b>Carga Uniforme (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Concentrada (kN)</b>
Fábricas/Industrias/Manufactura	6	9
Aula	2	--
Cubierta	1	--
Cubierta destinada para área de paseo	3	--

*Nota:* Tomado de NEC-SE-CG, por (MIDUVI, 2014).

**Casos de Carga:** En función a la respuesta estructural que se obtuvo en los análisis en software que se presentan en el siguiente capítulo, se pudo observar que la estructura presenta una baja respuesta dinámica considerando las cargas de la Normativa. Razón por la cual se decidió establecer dos casos de carga. Las cargas que se aplican en cada una de las vigas están presentadas en la sección anexos.

#### **Caso 1**

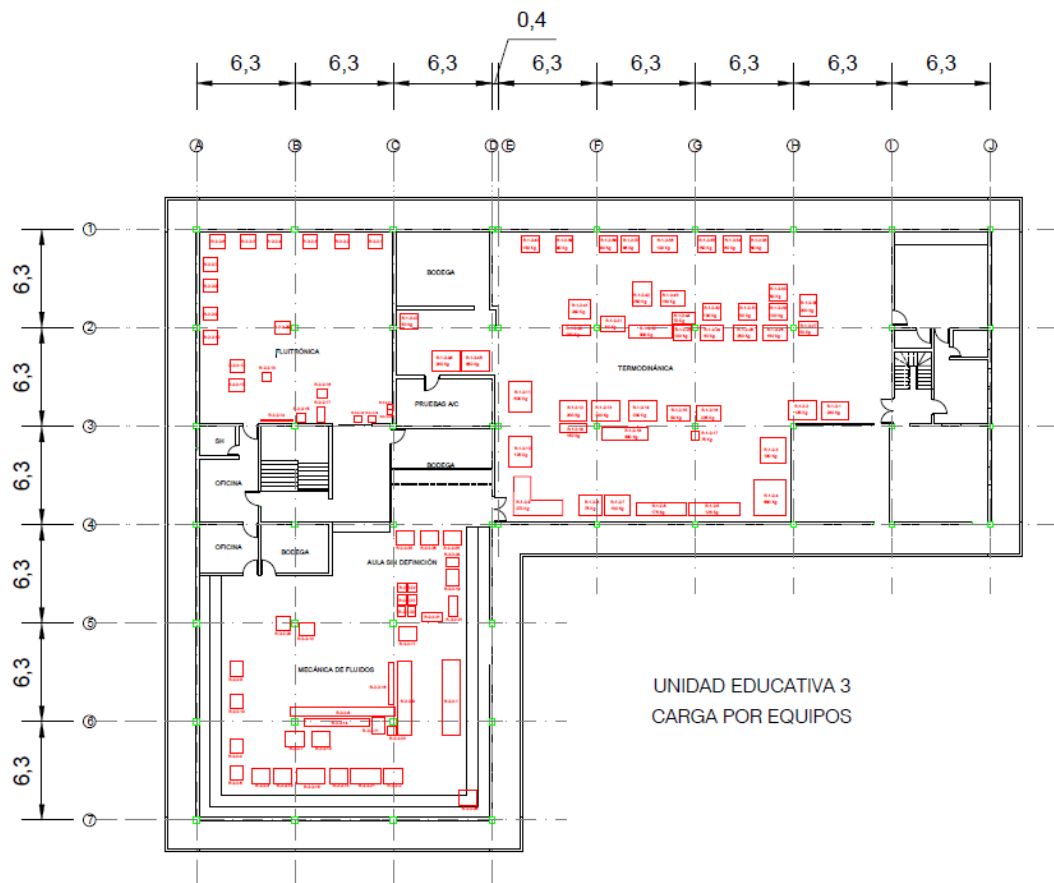
El primer caso contempla la carga viva correspondiente según la ocupación de la estructura, diferenciando los espacios con equipos y aulas, y tomando los valores que recomienda la normativa.

#### **Caso 2**

Este caso plantea una mayor aproximación a la forma en que se encuentra cargada la estructura, se realizó un levantamiento de los equipos existentes, a fin de determinar su carga y posición dentro de las estructuras. Observe la Figura 87.

#### **Figura 87**

*Equipos de laboratorio en la segunda planta de la UE3*



*Nota:* Distribución de los equipos de laboratorio del bloque 1 y 2 de la UE3.

### **Combinaciones de cargas**

Al ser esta una evaluación para una estructura existente, se selecciona la combinación de cargas indicadas por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción de Riesgo Sísmico, Evaluación y Rehabilitación de estructuras NEC-SE-RE, tomando en cuenta el análisis de cargas propuesto anteriormente y siguiendo los lineamientos de las normativas NEC-SE-CG y NEC-SE-DS para la estimación de cargas gravitacionales y laterales (MIDUVI, 2014).

$$1,1(D + 0,25L) + E \quad (16)$$

$$0,9(D + 0,25L) + E \quad (17)$$

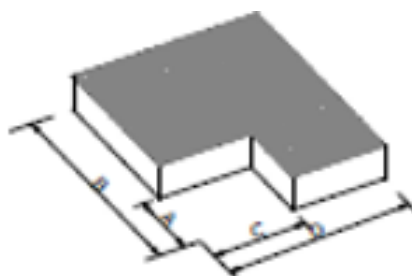
D	Carga muerta total de la estructura
E	Efectos de las fuerzas sísmicas
L	Sobrecarga (carga viva)

### Coeficiente de Regularidad en Planta

De acuerdo a la Normativa su coeficiente de regularidad en planta toma el valor de 1 para ambos bloques, pese a que el bloque 2 presenta una irregularidad en su configuración. La irregularidad por entrantes, como se aprecia en la figura 26, no es considerable según el análisis de proporción del 15% presentado en la normativa NEC.

### Figura 88

*Retroceso excesivo en esquinas  $\Phi P = 0,9$*



*Nota:* Figura para determinar el coeficiente de regularidad en planta.

$$A = 22,95 \text{ m } B = 41,80 \text{ m } C = 2,00 \text{ m } D = 22,90 \text{ m}$$

$$A > 0,15 * B \text{ y } C > 0,15 * D$$

$$22,90 > 6,27 \text{ y } 2,00 > 3,44 \text{ no cumplen}$$

Al no cumplirse ambas condiciones, se considera el factor de regularidad en planta de 1.

### Cortante basal de diseño

La estimación de las cargas por acción sísmica se guía de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC.



De acuerdo a (Saavedra, 2016): “El cortante basal en una edificación es la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso, el cual se refleja en la base del mismo”.

Dichos cortantes por piso es la aplicación de una fuerza sísmica en un nivel determinado, y estos se van acumulando en función que se acercan a la base.

La Tabla 68 se presenta los datos para determinar el espectro elástico de diseño.

**Tabla 68**

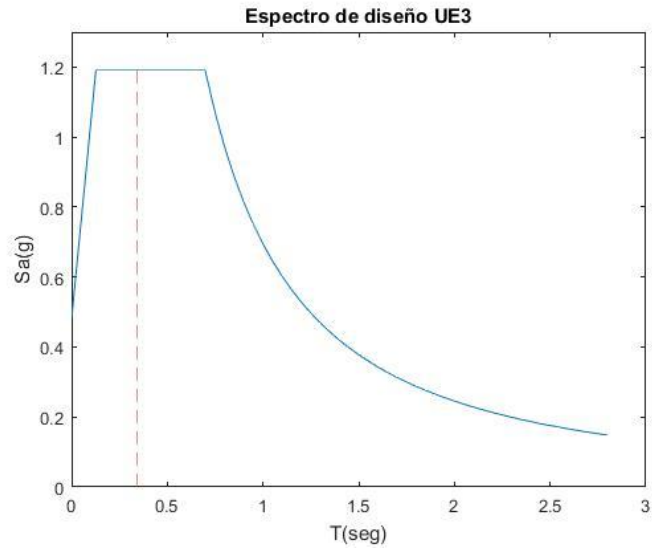
*Parámetros para espectro de diseño elástico de la UE3*

<b>ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO EN ACELERACIONES - Bloque 1 y 2</b>				
Parámetro	Variable	Valor	Unidades	
Factor de importancia	I	1,3	s.u	
Factor de reducción de respuesta	R	5	s.u	
Zonificación Sísmica		V		
Región del Ecuador		Sierra		
Factor de aceleración de la zona sísmica	Z	0,4	s.u	
Relación de amplificación espectral	n	2,48	s.u	
Coefficiente Ct	Ct	0,055	s.u	
Altura total del elemento	hn	7,7	s.u	
Coefficiente para Cálculo de Periodo	$\alpha$	0,9	s.u	
Tipo de Suelo		D		
Factor de sitio Fa	Fa	1,2	s.u	
Factor de sitio Fd	Fd	1,19	s.u	
Factor de comportam. Inelástico suelo	Fs	1,28	s.u	
Factor asociado al periodo de retorno	r	1,5	s.u	
Coefficiente de regularidad en planta	$\phi_p$	1	s.u	
Coefficiente de regularidad en elevación	$\phi_e$	1	s.u	
Aceleración de la gravedad	g	9,81	m/s <sup>2</sup>	
<b>Periodo teórico</b>	T1	0,345	seg	
Periodo Límite en T=To	To	0,127	seg	
Periodo Límite en T=Tc	Tc	0,698	seg	
Periodo Limite en T=TL	TL	4	seg	
<b>Aceleración en T=To</b>	Sa <sub>0</sub>	1,19	g	

*Nota:* Valores para calcular el espectro elástico de diseño de la UE3.

Figura 89

Espectro de diseño UE3



Nota: Espectro de diseño calculado para análisis de la Unidad Educativa 3.

Tabla 69

Parámetros para cortante basal de UE3

Coeficiente de Corte Basal		
Ta	0,345	seg
Sa(Ta)	1,19	g
I	1,3	s.u
R	5	s.u
$\phi_p$	1	s.u
$\phi_e$	1	s.u

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} W \quad (18)$$

$S_a(T_a)$  Espectro de diseño en aceleración

$\phi_P$  y  $\phi_E$  Coeficientes de configuración en planta y elevación

$I$	Coficiente de importancia
$R$	Factor de reducción de resistencia sísmica
$V$	Cortante basal total de diseño
$W$	Carga sísmica reactiva
$T_a$	Período de vibración

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} = 0,31$$

El peso de la estructura del Bloque 1

$$W_1 = 9109,772 \text{ kN}$$

Cortante basal Bloque 1

$$V_1 = 0,31 * 9109,772 \text{ kN} = 2819,51 \text{ kN}$$

El peso de la estructura del Bloque 2

$$W_2 = 10795,611 \text{ kN}$$

Cortante basal Bloque 2

$$V_2 = 0,31 * 10795,611 \text{ kN} = 3341,28 \text{ kN}$$

Para finalizar con el proceso de cargas sísmica, se debe calcular las cargas laterales pertenecientes a cada piso de la edificación.

La Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, pone a disposición la ecuación para el cálculo de las fuerzas sísmicas laterales.

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} * V \quad (19)$$

La Tabla 70 y Tabla 71 muestra los parámetros que se utilizaron para determinar las cargas sísmicas y desarrollar su distribución vertical en el bloque 1 y bloque 2 de los laboratorios, respectivamente.

**Tabla 70**

*Coefficientes para el cortante basal para el bloque 1 de UE3*

Parámetro	Terminología	Valor	Unidad	Observación
Porcentaje de cortante basal	%V	30,95	%	-
Carga sísmica Reactiva	W	9109,77	kN	-
Cortante Basal	V	2819,51	kN	%V x W

*Nota:* Cortante Basal en bloque 1 de laboratorios de la UE3.

**Tabla 71**

*Coefficientes para el cortante basal para el bloque 2 de UE3*

Parámetro	Terminología	Valor	Unidad	Observación
Porcentaje de cortante basal	%V	30,95	%	-
Carga sísmica Reactiva	W	10795,61	kN	-
Cortante Basal	V	3341,28	kN	%V x W

*Nota:* Cortante Basal en bloque 2 de laboratorios de la UE3.

De igual manera, la Tabla 72 y 73 presenta los resultados de la distribución vertical de las cargas sísmicas para el bloque 1 y 2, respectivamente.

**Tabla 72**

*Cargas sísmicas por piso de bloque 1 de UE3*

Piso	Wi	hi	wi*hi	%	Fi	%*Fi
#	[kN]	[m]	[kN*m]		[kN]	
1	4760,638	3,85	18328,46	0,35	2819,51	<b>997,31</b>
2	4349,134	7,70	33488,33	0,65	2819,51	<b>1822,20</b>
Σ	9109,772	Σ	51816,79			

*Nota:* Distribución de cargas sísmicas por piso en el bloque 1 de laboratorios de la UE3.

**Tabla 73**

*Cargas sísmicas por piso del bloque 2 de UE3*

Piso	Wi	hi	wi*hi	%	Fi	%*Fi
#	[kN]	[m]	[kN*m]		[kN]	
1	5639,248	3,85	21711,11	0,35	3341,28	<b>1181,19</b>
2	5156,363	7,70	39704,00	0,65	3341,28	<b>2160,09</b>
Σ	10795,611	Σ	61415,10			

*Nota:* Distribución de cargas sísmicas por piso en el bloque 1 de laboratorios de la UE3.

## **Ensayos no destructivos**

### ***Pachómetro***

Se realizó una inspección y se comprobó el armado de los elementos estructurales, tanto de su armado de refuerzo longitudinal, así como su armado transversal. De esta manera se verificó los diámetros de las varillas, el recubrimiento y la separación del refuerzo de corte. Lo mencionado se detalla en la Figura 90.

### **Figura 90**

*Ensayo del Pachómetro en la UE3*



*Nota:* Evidencia de ensayo del pachómetro en bloques de la Unidad Educativa 3

**Resultados.** El análisis de los elementos permitió comprobar que el refuerzo era acorde con la información presentada en los planos.

### ***Esclerómetro***

El registro de datos se realizó mediante el proceso que consiste en golpear 16 veces, a una separación de 5 cm, la superficie de las columnas, en este caso sobre el enlucido debido a la accesibilidad a los elementos de estudio. De este modo se delimitó una malla rectangular de 15cm x 15cm y se implementó el martillo Schmidt para la toma de datos. Lo mencionado se detalla en la Figura 91.

**Figura 91***Ensayo del esclerómetro en la UE3*

*Nota:* Evidencia del ensayo del esclerómetro en bloques de la Unidad Educativa 3.

**Resultados.** A partir de los datos obtenidos del ensayo se descartan el valor máximo y mínimo y se obtiene el promedio de rebote, mismo que se aplicará en la Figura 92. Mediante esto se obtiene su  $f'c$  que resulta su resistencia a la compresión de acuerdo con la calibración y especificación del equipo.

**Tabla 74***Registro de las lecturas del esclerómetro columnas bloque 1*

Rebote con martillo N (RN) en posición A								
Golpe	Columnas							
	E1	G1	I1	F2	F3	H2	G4	F4
1	24	34	28	30	34	32	34	36
2	26	34	38	34	30	30	38	38
3	26	34	32	32	34	34	38	38
4	26	38	32	34	34	36	38	38
5	26	34	36	34	34	32	36	32
6	24	36	34	36	28	36	36	36
7	24	36	32	36	30	34	36	40
8	24	32	36	30	30	34	38	34

<b>9</b>	26	40	36	32	34	30	38	40
<b>10</b>	26	38	28	30	38	34	38	40
<b>11</b>	24	36	32	36	34	34	36	36
<b>12</b>	24	30	34	34	30	32	30	40
<b>13</b>	24	38	28	34	32	38	34	40
<b>14</b>	24	38	28	30	32	30	34	36
Promedio	24,86	35,57	32,43	33,00	32,43	33,29	36,00	37,43

*Nota:* Registro y análisis de datos de ensayo del bloque 1

$$P. \text{ de rebote} = \frac{24,86 + 35,57 + 33,43 + 33,0 + 32,43 + 33,29 + 36,00 + 37,43}{8}$$

$$Promedio \text{ de rebote} = 33,13$$

**Tabla 75**

*Registro de las lecturas del esclerómetro columnas bloque 2*

<b>Rebote con martillo N (RN) en posición A</b>													
<b>Golpe</b>	<b>Columnas</b>												
	<b>A1</b>	<b>A3</b>	<b>A5</b>	<b>A7</b>	<b>B2</b>	<b>B4</b>	<b>B6</b>	<b>C2</b>	<b>C4</b>	<b>C6</b>	<b>D1</b>	<b>D3</b>	<b>D7</b>
<b>1</b>	24	30	38	34	26	36	36	34	32	30	24	36	38
<b>2</b>	22	30	36	32	28	36	36	30	32	28	24	36	34
<b>3</b>	20	32	34	34	28	34	30	36	38	30	26	34	36
<b>4</b>	22	32	32	34	30	28	34	32	38	28	26	34	38
<b>5</b>	24	30	34	36	28	34	36	30	34	32	24	34	38
<b>6</b>	24	30	34	32	28	36	32	34	32	28	24	36	36
<b>7</b>	26	30	34	38	30	36	36	32	36	30	26	32	38
<b>8</b>	24	34	36	32	28	32	32	32	34	30	24	34	40
<b>9</b>	24	32	32	34	30	32	34	36	36	32	24	32	38
<b>10</b>	26	34	34	36	26	32	32	32	34	30	26	30	36
<b>11</b>	26	32	32	32	26	34	36	32	30	26	22	34	36
<b>12</b>	24	36	34	32	28	30	32	36	34	30	24	38	36

<b>13</b>	26	30	36	34	30	26	34	32	38	30	26	36	36
<b>14</b>	26	30	32	36	28	30	32	34	34	32	26	32	38
Promedi		31,	34,	34,	28,	32,	33,	33,	34,	29,	24,	34,	37,
o	24,1	6	1	0	1	6	7	0	4	7	7	1	0

*Nota:* Registro y análisis de datos de ensayo del bloque 1

*P. de rebote*

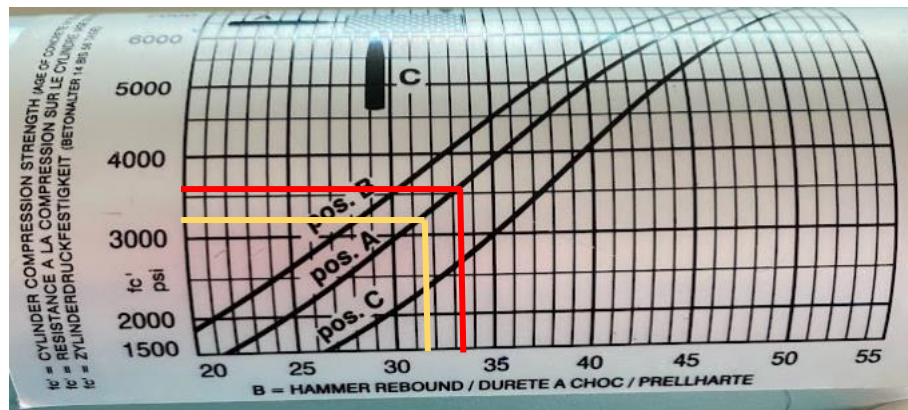
$$= \frac{24,1 + 31,6 + 34,1 + 34,0 + 28,1 + 32,6 + 33,7 + 33,0 + 34,4 + 29,7 + 24,7 + 34,1 + 37,0}{13}$$

$$\text{Promedio de rebote} = 31,64$$

Obtenido el promedio de rebote, se procede a determinar la resistencia a la compresión del hormigón  $f'_c$  mediante el gráfico de correlación del martillo Schmidt.

**Figura 92**

*Promedio rebote vs resistencia a la compresión*



*Nota:* Cálculo de la resistencia a la compresión mediante el gráfico de correlación del martillo.

Calcular la resistencia del concreto después de un tiempo depende de varios factores, y uno de ellos es el factor de carbonatación correspondiente según la tabla 22. La resistencia final se presenta en la Tabla 76.



**Tabla 76**

*Resistencia del hormigón en bloques 1 y 2 de la UE3*

<b>Factor de carbonatación</b>		0,84
<b>Bloque</b>	<b>Resistencia</b>	<b>R*factor</b>
N°	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
1	247	207,30
2	245	206,11

*Nota:* Resistencia de concreto en bloque 1 y 2 de la UE3.

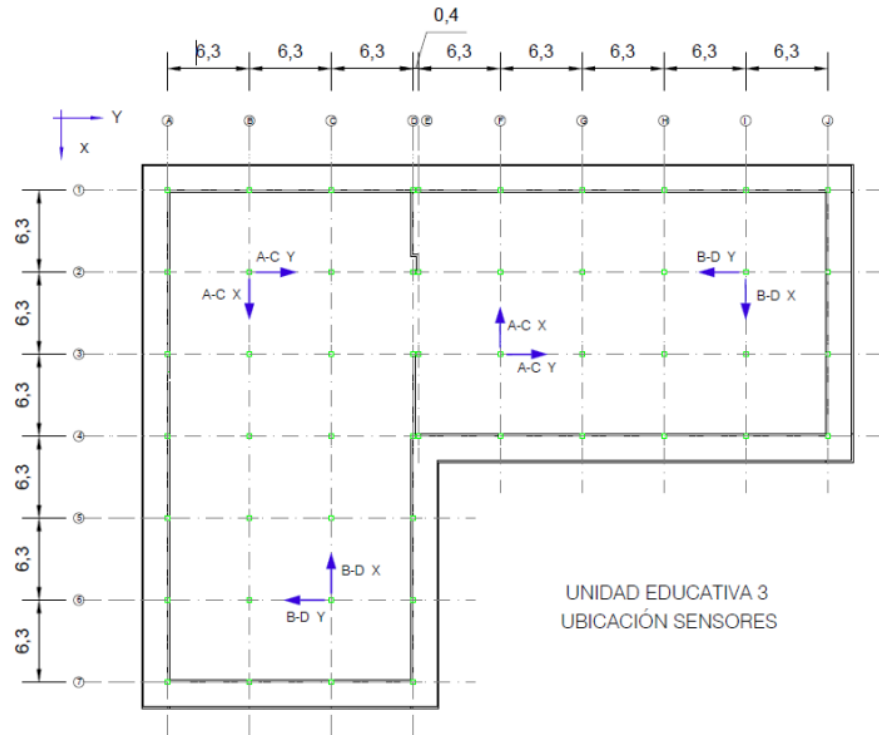
### **Instrumentación**

La instrumentación se realizó en una sola configuración para cada bloque, colocando los sensores en la segunda planta y en la cubierta. El segundo piso está conformado por los sensores denominados A y B, en cambio para la cubierta se encuentran los sensores C y D.

A continuación, en la Figura 93, se detalla las ubicaciones de los sensores en planta y los ejes referenciales para el proceso.

### **Figura 93**

*Ubicación de equipos en el piso 2 y ejes asumidos para la UE3*



*Nota:* Esquema de ubicación de sensores de instrumentación en UE3.

## Capítulo 9

### Modelamiento y Análisis de la Unidad Educativa 3

En el presente capítulo se especifican las consideraciones para poder llevar a cabo el modelamiento de la estructura en el software SeismoStruct. Así mismo, se detallan los objetivos de desempeño y los parámetros de demandas para su respectivo análisis no lineal estático.

#### Consideraciones del modelo en SeismoStruct

##### ***Materiales***

Los valores de resistencia de los materiales que forman a las estructuras de laboratorio se presentan en la Tabla 77. Estos fueron implementados en el análisis a través del software SeismoStruct.

**Tabla 77**

*Valores de materiales para modelamiento de la UE3*

<b>Elemento</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Hormigón en vigas	$f'c = 207,30$	Kg/cm <sup>2</sup>
Hormigón en columnas	$f'c = 207,30$	Kg/cm <sup>2</sup>
Bloque de mampostería	$f'c = 35,70$	Kg/cm <sup>2</sup>
Fluencia del acero de refuerzo	$f_y=4200$	Kg/cm <sup>2</sup>

*Nota:* Materiales para modelamiento en software SeismoStruct.

##### ***Secciones***

Se presenta en la Tabla 78, las secciones de los elementos vigas y columnas usadas en el modelamiento, así como la nomenclatura usada para identificar a cada una.

**Tabla 78**

*Secciones de elementos vigas, columnas y nomenclatura para modelamiento de la UE3*

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Dimensiones [cm]</b>
---------------	-------------	-------------------------

ZonaConfiVIGA	rcrs	40x25
ZonaMediaVIGA	rcrs	40x25
Z20-ConfiCOLUMNA	rcrs	35x35
Z20-MediaCOLUMNA	rcrs	35x35

Nomenclatura	Significado
rcrs	Sección rectangular del hormigón armado
Confi	Zona de confinamiento
Media	Zona central

*Nota:* Sección de elementos vigas y columnas de la UE3 y nomenclatura para modelamiento.

### ***Secciones de mampostería***

El software SeismoStruct considera a la mampostería como un elemento no estructural y lo denomina como paneles infill o de relleno, este elemento se utiliza como un modelo equivalente para la creación de paredes y su configuración se base a través de su rigidez y dimensiones (Seismosoft, 2021).

### ***Análisis de cargas***

El programa considera el término “carga” como el tipo de acción que pueda aplicarse sobre la estructura, estas se pueden relacionar como fuerzas, desplazamientos y/o aceleraciones.

Una vez definida la geometría de los bloques de la Unidad Educativa 3, se parte con precisar el peso de la estructura y que tipo de cargas soporta. El programa presenta diferentes tipos de cargas, por lo que es necesario tener en claro que tipo de carga se requiere implementar a los modelos.

**Cargas permanentes.** Este tipo de cargas son consideradas estáticas, las cuales se encuentran aplicadas sobre la estructura de forma permanente. Se conforman por las fuerzas

del peso propio de los elementos o desplazamientos prescritos (Seismosoft, 2021).

Si no se tiene un cálculo de los pesos de los elementos, el programa facilita este proceso y define el peso dependiendo sus secciones y materiales.

En el caso de que no se otorgue el cálculo del peso de los elementos estructurales al programa, este facilita el proceso mediante el cálculo del peso, dependiendo de las secciones y materiales, de los elementos.

**Cargas temporales.** El software implementado carece de un espacio que permita la definición de las cargas temporales, por tal razón, este tipo de cargas se suman a las permanentes.

Como se menciona en el capítulo 8, se adoptó dos casos de cargas para los bloques de la Unidad Educativa 3. El Caso 1 toma en cuenta las cargas recomendadas por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG para fábricas/industria/Manufactura con la clasificación liviana, mientras que el Caso 2 se basa en un estado más real de las cargas presentes en el bloque. Esto se realizó mediante la inspección y levantamiento de todos los equipos que se encuentran en los laboratorios.

Cabe indicar que los bloques se encuentran seccionados de acuerdo a su uso, por lo cual se diferenció los espacios que contienen equipos con aquellos que son implementados como aulas, y se seleccionó los valores que recomienda la normativa.

Los valores de carga que recaen sobre cada una de las vigas que conforman la estructura de los bloques 1 y 2 son presentados en los anexos. Las cargas seleccionadas por normativa se encuentran especificadas en la Tabla 67.

**Cargas incrementales.** El análisis implementado a los bloques de la Unidad Educativa 3 son de tipo Pushover, por lo cual, es necesario el uso de cargas incrementales para su cálculo. La función de estas cargas son estimar la capacidad resistente horizontal de la estructura.

De acuerdo a (Seismosoft, 2021): “Las cargas incrementales representan cargas pseudo-estáticas (fuerzas o desplazamientos) que son variadas de forma incremental. La magnitud de la carga en cualquier paso del análisis está dada por el producto de su valor nominal”.

Este valor puede ser establecido por la persona usuaria, y el factor de carga actual, puede ser actualizado automáticamente o definido por el usuario.

Para el análisis de bloque 1 y bloque 2 se colocó cargas a los nodos de tipo fuerza, con un factor de 1. Las direcciones de análisis para cada estructura dependerán del sentido de estudio deseado.

**Fases de cargas - Loading phases.** La selección del tipo de fase depende del análisis que sea implementado. Para este caso se toma el control de respuesta adaptativo. Este tipo de esquema de carga/solución se basa en el control de la respuesta de un nodo particular de la estructura. En el caso de estudio se lo denominará como nodo de control, en donde la recomendación que nos especifica el manual del software menciona que este nodo no debe estar cargado con ninguna carga incremental. De igual manera es importante señalar la cantidad de incrementos para los cuales se subdividirá el desplazamiento objetivo.

En la Tabla 79 se indica los valores definidos para el análisis.

**Tabla 79**

*Valores definidos en el módulo fase de control de respuesta*

FASES DE CARGA	
Fase Tipo	Adaptative Reponse Control
Pasos	60,00
Nombre Nodo	H-2-N3
Dirección	X
Desplazamiento Máximo [m]	0,3

*Nota:* Fases de carga para modelamiento de la UE3.

La fase finaliza llegado el colapso estructural o numérico o una vez se alcanza el desplazamiento objetivo (target).

**Espectro de diseño.** El espectro de respuesta puede ser definido con la ayuda del software SeismoStruct, ya que en su base de datos tiene cargado diferentes códigos estructurales de varios países, entre ellos la Normativa NEC-15. El programa requiere de pocos datos para el cálculo del espectro de respuesta. Entre estos se encuentran: zona sísmica, tipo de suelo y el factor de amplificación. El valor del factor Z se define automáticamente dependiendo de la zona sísmica que se especifique.

A continuación, se presentan los valores que se implementaron al programa para el diseño del espectro en la Tabla 80 y en la Figura 94 se encuentra el espectro final de diseño.

**Tabla 80**

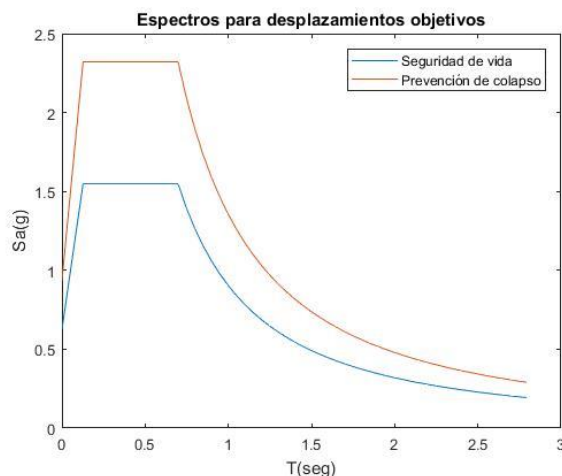
*Valores para el diseño del espectro de respuesta de la UE3*

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Zona sísmica	V
Valor factor Z	0,4
Tipo de suelo	D
Factor de amplificación	2,48

*Nota:* Valores de diseño del espectro de respuesta de la UE3.

**Figura 94**

*Espectro final de diseño en SeismoStruct para UE3*



*Nota:* La figura representa el espectro de respuesta obtenido a través del software SeismoStruct.

### **Objetivos de desempeño**

Los objetivos de desempeños seleccionados para el análisis del bloque 1 y bloque 2 de la Unidad Educativa 3, fueron Nivel de Seguridad (3-C) con una acción sísmica BSE-1 y prevención de colapso (5-D) con una acción sísmica de BSE-2.

La selección de estos objetivos tiene el fin de forzar a la estructura al escenario del peor caso posible y así estudiar el comportamiento de la estructura, con el propósito de analizar su resiliencia. En la Tabla 81 se presenta los niveles de desempeño, de acuerdo a la ASCE 41-13.

### **Tabla 81**

*Niveles de desempeño tabla C2-2 ASCE 41-13*



ASCE 41-13. Tabla C2-2

		Niveles objetivos de de Desempeño Esperados en el Edificio			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)
NIVEL DE TERREMOTO	50% / 50 años	a	b	c	D
	20% / 50 años	e	f	g	H
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	<b>k</b>	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	<b>P</b>

*Nota:* Esta tabla muestra los diferentes niveles de desempeño esperados para una edificación.

Tomado de ASCE 41-17: *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, por (ASCE/SEI , 2017).

### **Procesamiento de datos**

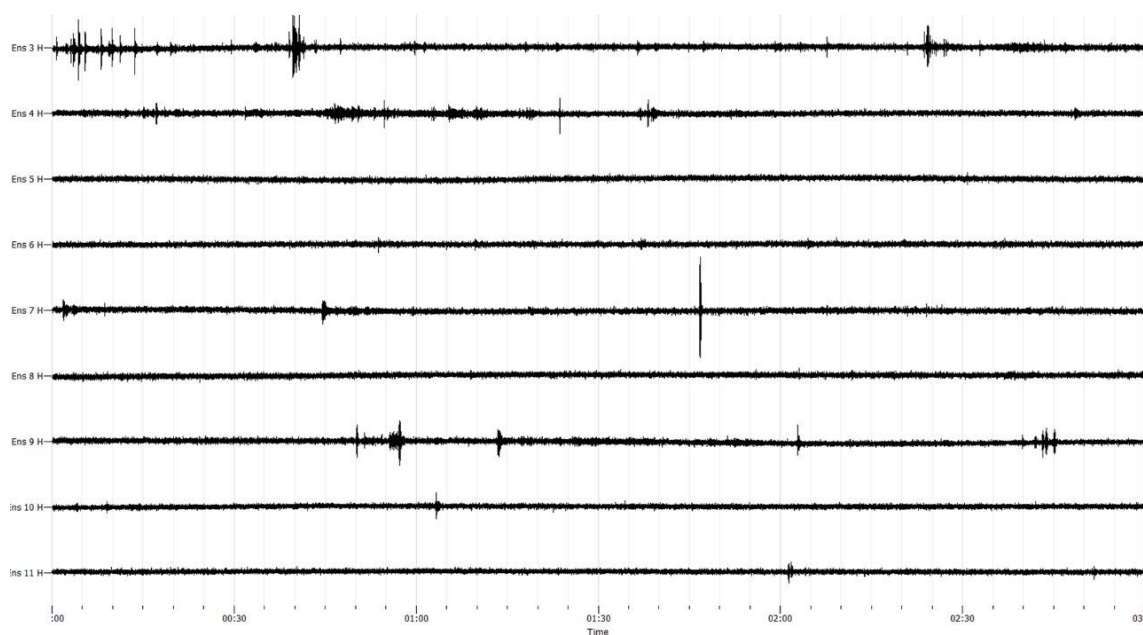
**Selección de datos.** Con la realización del ensayo de vibración ambiental, se procede a obtener las lecturas de los acelerómetros utilizados. Las lecturas deben pasar por un proceso de selección, el cual consiste que mediante la ayuda del software geopsy se pueda verificar cuál de estas tienen un registro más limpio, es decir, con el menor ruido ambiental posible (Ej: Sonido de carros, personas, viento, etc.). Con esto se logra obtener lecturas que puedan ser implementadas como punto de partida para el procesamiento de datos con la herramienta MATLAB.

En el siguiente apartado, se presenta los registros determinados en el bloque 1 y bloque 2 y se indica las mejores lecturas obtenidas a través del ensayo para su posterior procesamiento.

**Bloque 1 - sentido X.** En la Figura 95 se muestra las aceleraciones obtenidas por sensores implementados en el sentido X del bloque 1, en los puntos AX y DX colocados en el primer y segundo piso, respectivamente.

**Figura 95**

*Proceso de selección de registro en sentido X en Geopsy – Bloque 1*



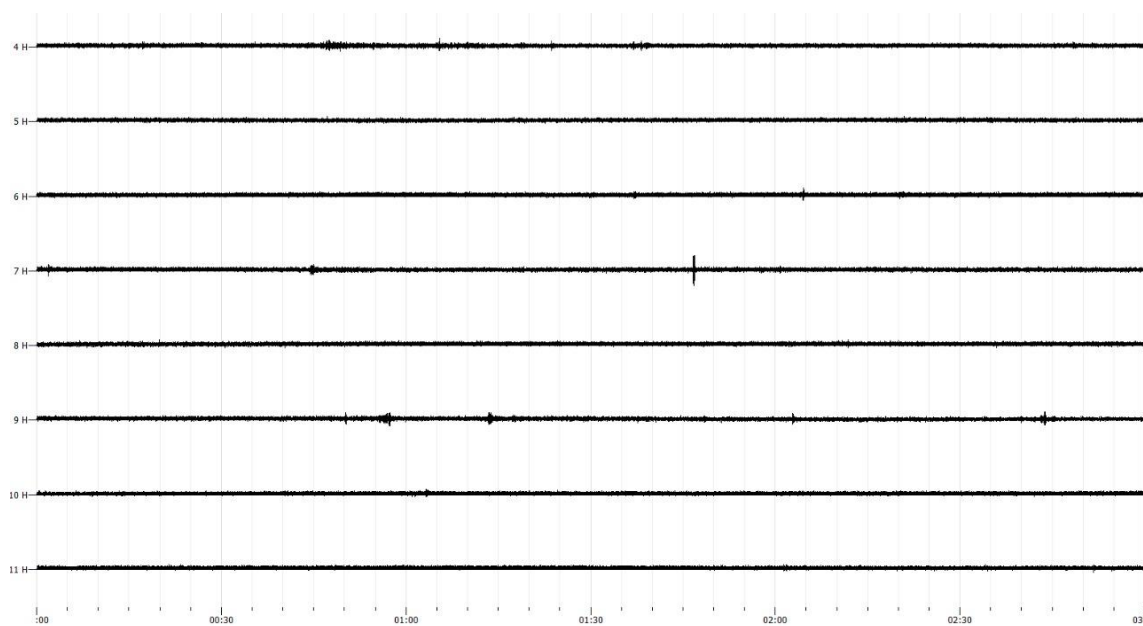
*Nota:* Lecturas de instrumentación en sentido X de bloque 1.

Como se aprecia en la figura, las lecturas seleccionadas en el sentido X del bloque 1 son la 9, 10 y 11. Estas presentan una buena caracterización para ser tomadas y continuar con el procesamiento de datos.

**Bloque 1 – sentido Y.** A continuación, en la Figura 96 se muestra las aceleraciones obtenidas por sensores implementados en el sentido Y del bloque 1, en los puntos AY y DY colocados en el primer y segundo piso, respectivamente.

**Figura 96**

*Proceso de selección de registro en sentido Y en Geopsy – Bloque 1*



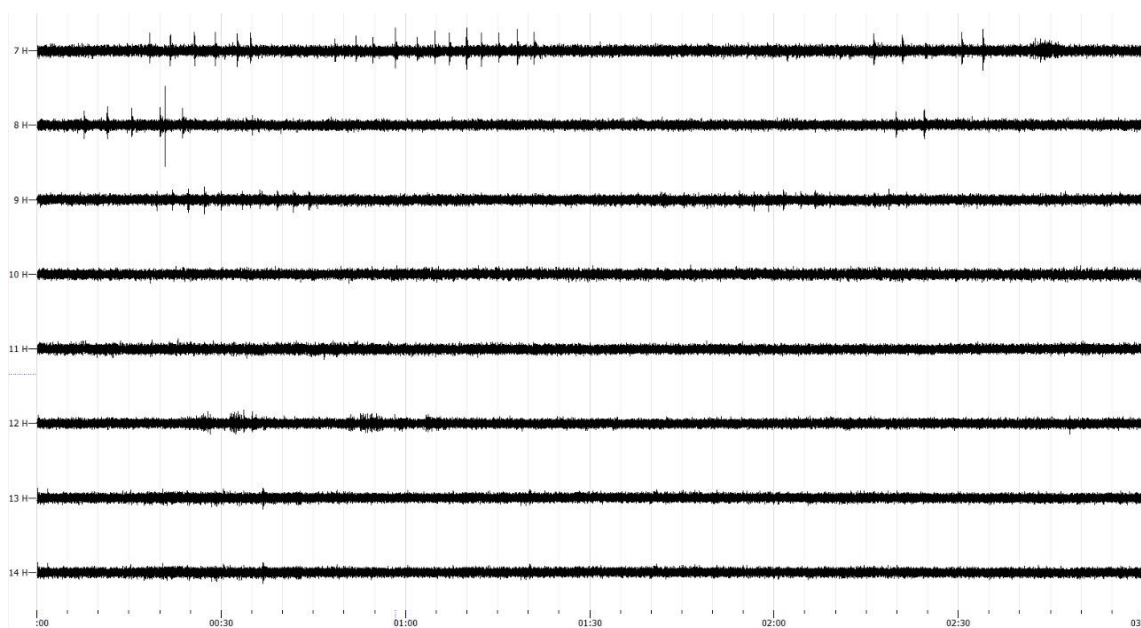
*Nota:* Lecturas de instrumentación en sentido Y de bloque 1.

Como se aprecia en la figura, las lecturas seleccionadas en el sentido Y del bloque 1 son la 9, 10 y 11. Estas presentan una buena caracterización para ser tomadas y continuar con el procesamiento de datos.

**Bloque 2 - sentido X.** En la Figura 97 se muestra las aceleraciones obtenidas por sensores implementados en el sentido X del bloque 2, en los puntos AX y DX colocados en el primer y segundo piso, respectivamente.

### **Figura 97**

*Proceso de selección de registro en sentido X en Geopsy – Bloque 2*



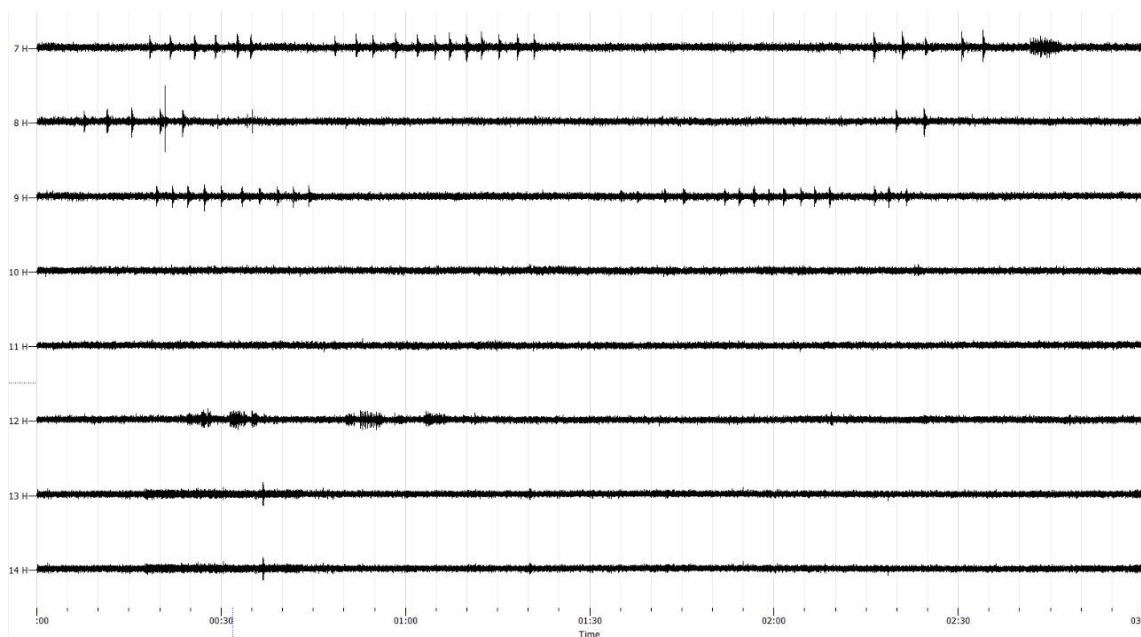
*Nota:* Lecturas de instrumentación en sentido X de bloque 2.

Como se aprecia en la figura, las lecturas seleccionadas en el sentido X del bloque 2 son la 10, 11 y 12. Estas presentan una buena caracterización para ser tomadas y continuar con el procesamiento de datos.

**Bloque 2 – sentido Y.** A continuación, en la Figura 98 se muestra las aceleraciones obtenidas por sensores implementados en el sentido Y del bloque 2, en los puntos AY y DY colocados en el primer y segundo piso, respectivamente.

### **Figura 98**

*Proceso de selección de registro en sentido Y en Geopsy – Bloque 2*



*Nota:* Lecturas de instrumentación en sentido Y de bloque 2.

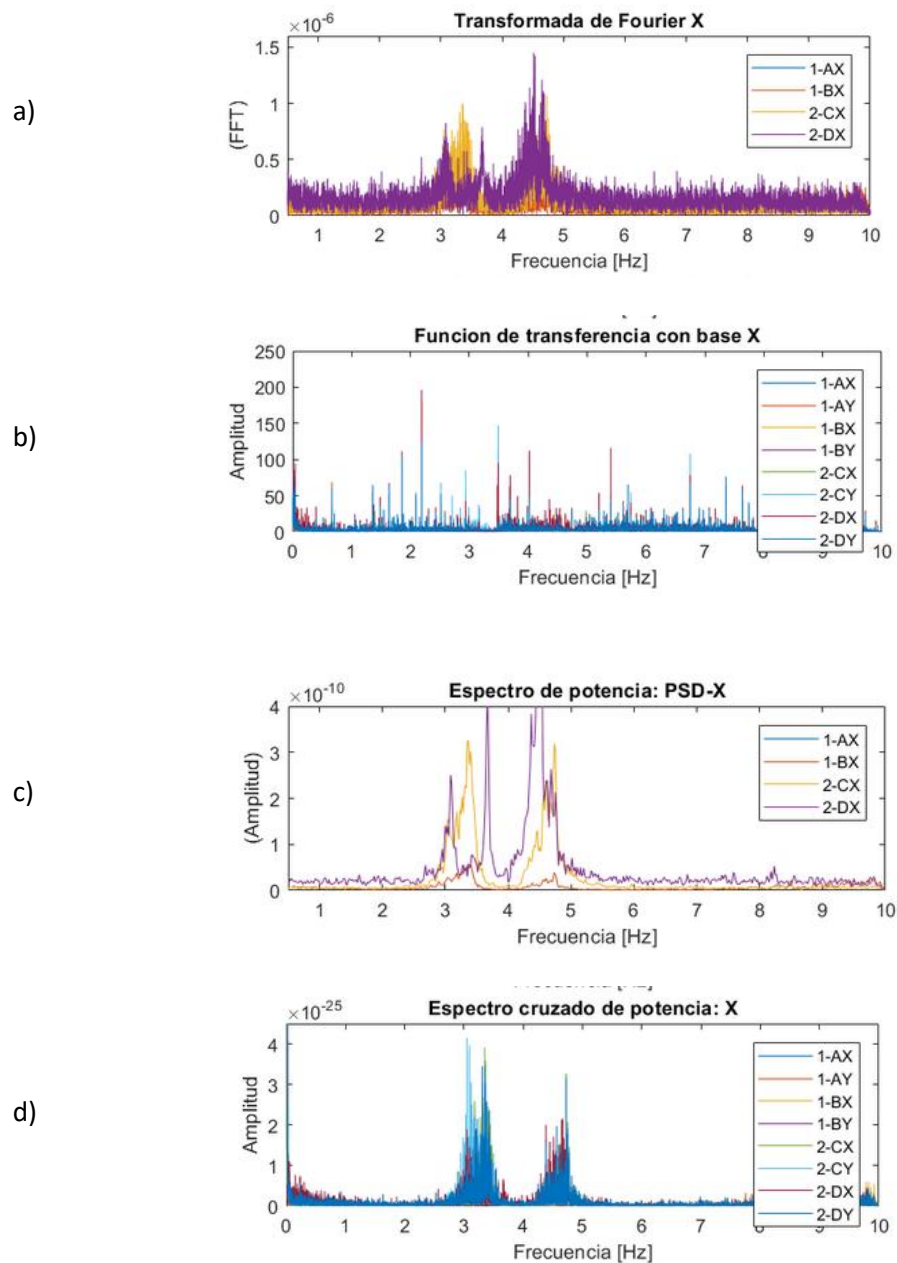
Como se aprecia en la figura, las lecturas seleccionadas en el sentido Y del bloque 2 son la 10, 11 y 12. Estas presentan una buena caracterización para ser tomadas y continuar con el procesamiento de datos de la Unidad Educativa 3.

**Software MATLAB.** Una vez definidas las mejores lecturas se comienza con el procesamiento de datos en el software MATLAB. Para esta sección se utilizaron las herramientas de ventaneo, transformada de Fourier, función de transferencia (TF), densidad de potencia espectral (PSD) y espectro cruzado de potencia (CPS) (Arcentales & Yépez, 2020).

En la Figura 99 y 100 se presentan las herramientas de identificación, mediante la implementación de las lecturas seleccionadas, en los sentidos “X” y “Y” del bloque 1 de la UE3.

### **Figura 99**

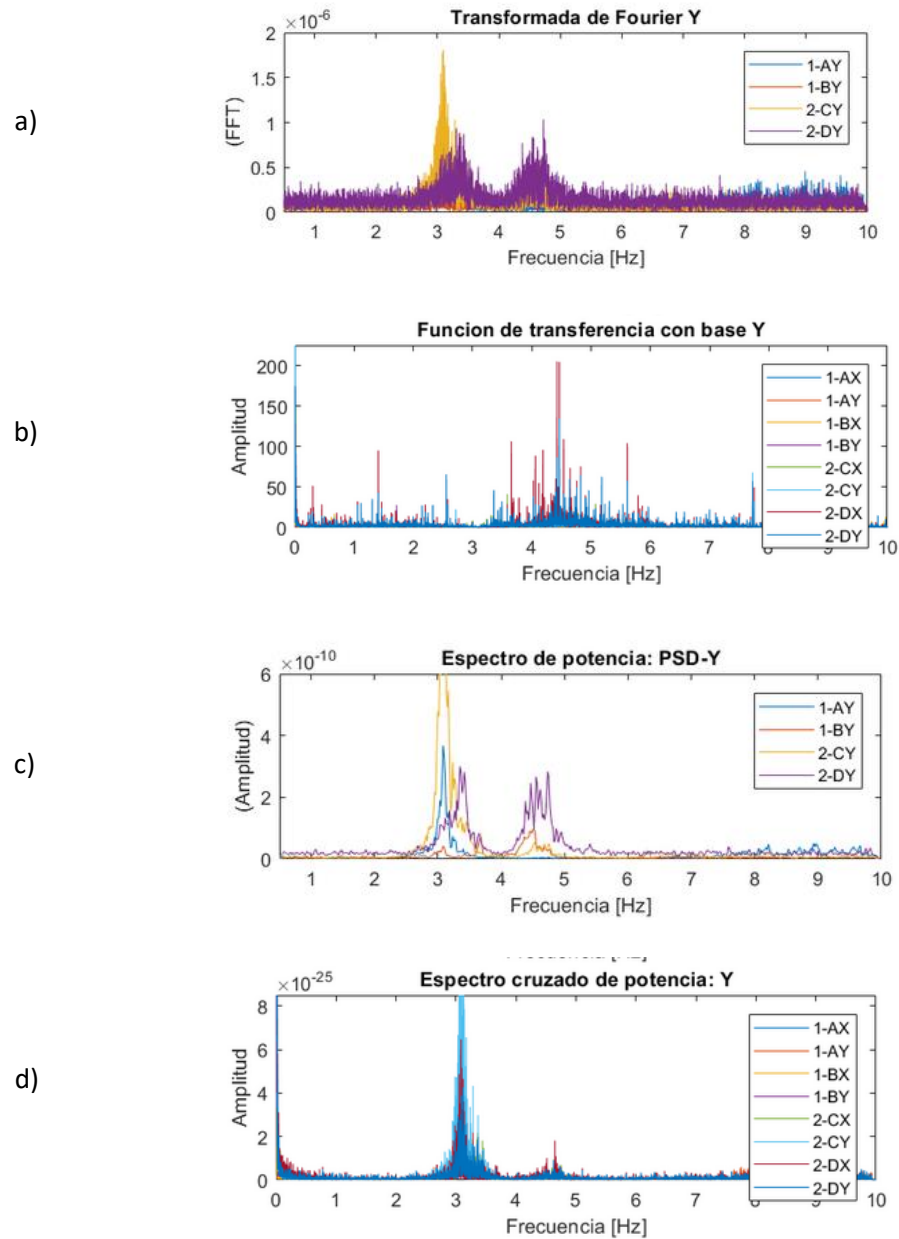
*Herramientas de identificación en sentido X - Bloque 1*



*Nota:* Esta figura muestra las herramientas de identificación del bloque 1 donde: a) Transformada de Fourier X, b) Función de transferencia con base X, c) Espectro de potencia PSD X, d) Espectro cruzado de potencia X.

### Figura 100

*Herramientas de identificación en sentido Y - Bloque 1*

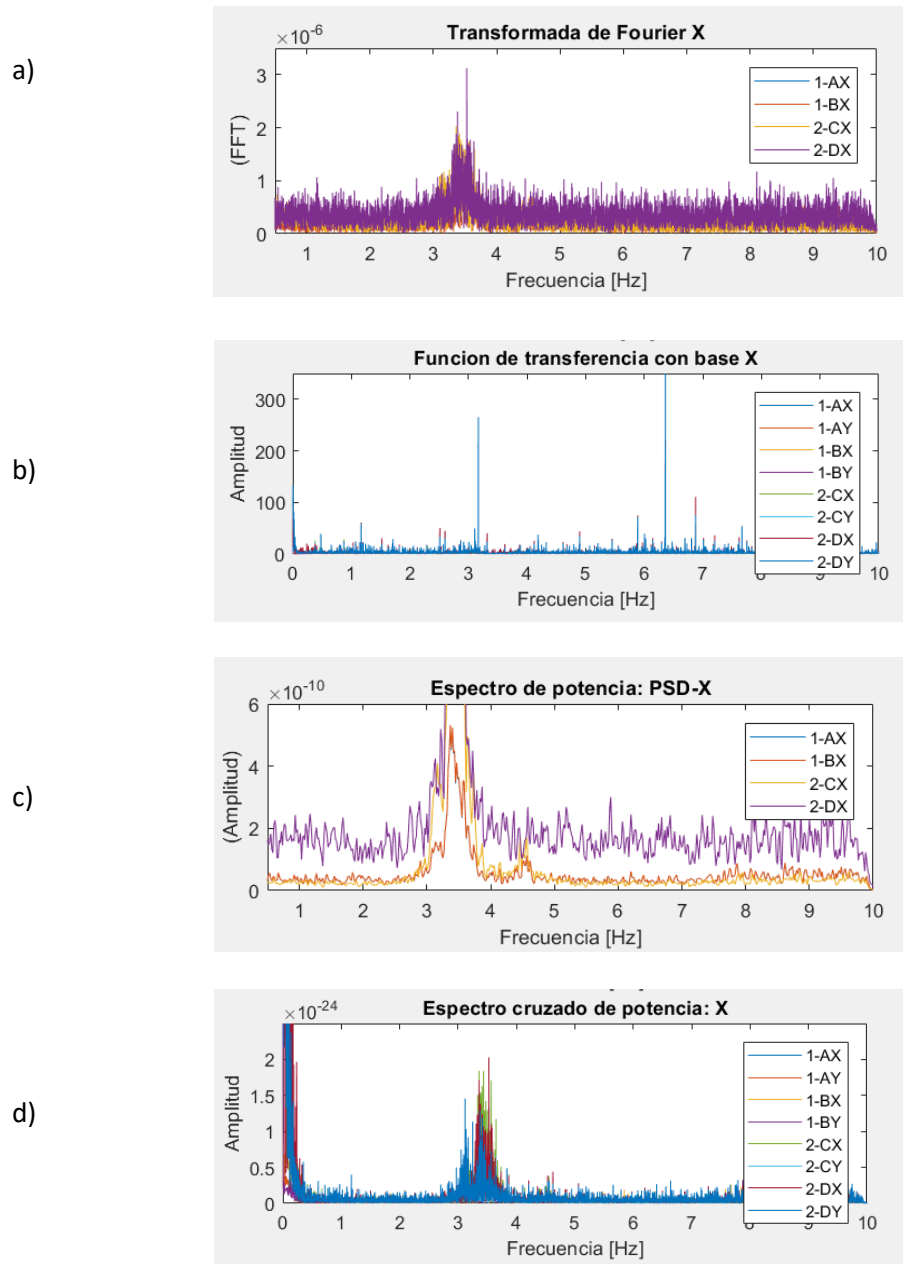


*Nota:* Esta figura muestra las herramientas de identificación del bloque 1 donde: a) Transformada de Fourier Y, b) Función de transferencia con base Y, c) Espectro de potencia PSD Y, d) Espectro cruzado de potencia Y.

De igual manera se presenta, en las Figuras 101 y 102 las herramientas de identificación para los sentidos “X” y “Y” del bloque 2 de la UE3.

Figura 101

## Herramientas de identificación en sentido X - Bloque 2



*Nota:* Esta figura muestra las herramientas de identificación del bloque 2 donde: a)

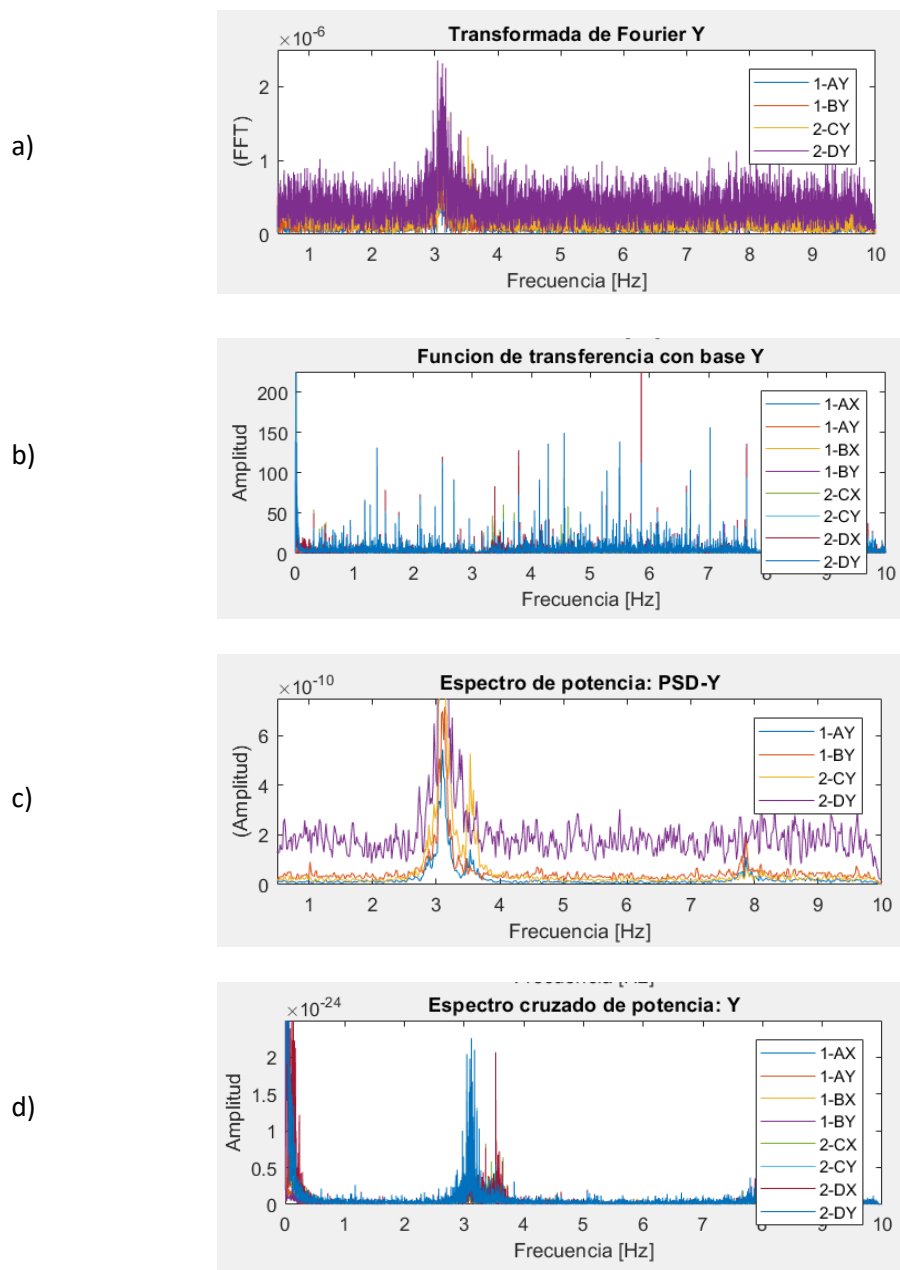
Transformada de Fourier X, b) Función de transferencia con base X, c) Espectro de potencia PSD

X, d) Espectro cruzado de potencia X.



Figura 102

## Herramientas de identificación en sentido Y - Bloque 2



*Nota:* Esta figura muestra las herramientas de identificación del bloque 2 donde: a)

Transformada de Fourier Y, b) Función de transferencia con base Y, c) Espectro de potencia PSD

Y, d) Espectro cruzado de potencia Y.

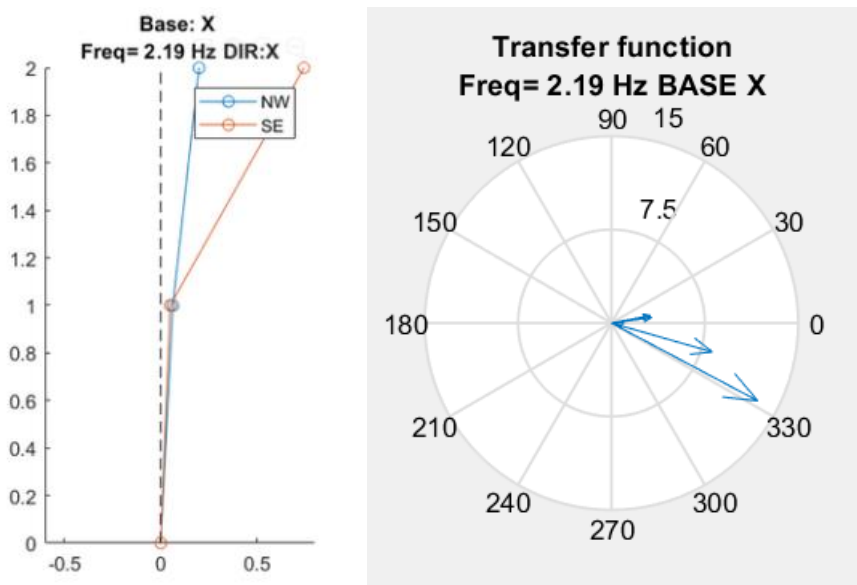
Finalizado el procesamiento de datos, se continúa con la identificación y señalamiento de las frecuencias más comunes y con ello las características pertenecientes a los picos en las diferentes herramientas de identificación mostradas anteriormente. Se realiza una selección manual y minuciosa mediante la función compass. La función mencionada permite verificar que cada configuración, de los diferentes ángulos de vectores correspondientes a la función de transferencia, se encuentre en fase. A través de estos y mediante el método SRSS se obtienen los modos de vibrar de las estructuras instrumentadas.

### Modos de vibración.

**Bloque 1.** Bajo el análisis indicado anteriormente, se detallan los resultados determinados para el bloque 1, donde se detalla los primeros tres modos de vibrar de la estructura y sus ángulos de fase.

**Figura 103**

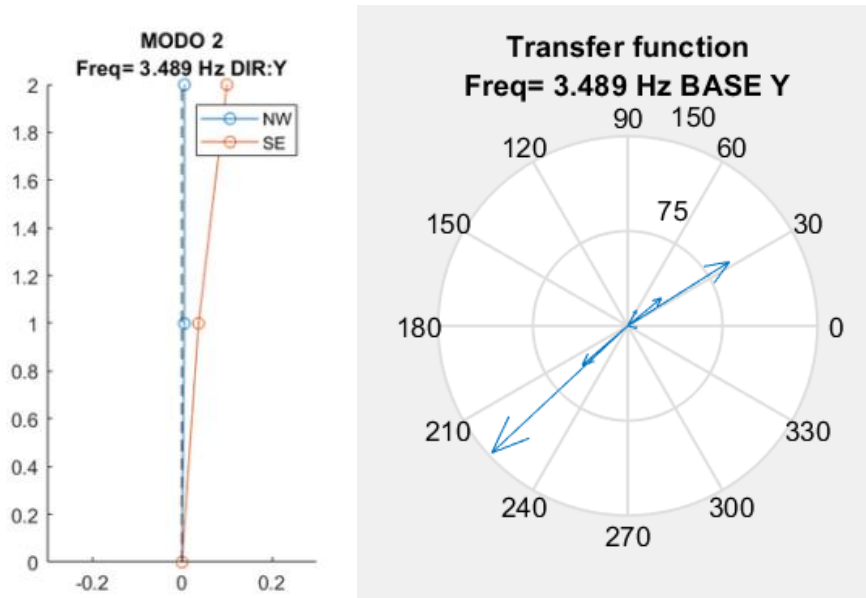
*Primer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 1*



*Nota:* Modo 1 del bloque 1 de laboratorios de la UE3.

Figura 104

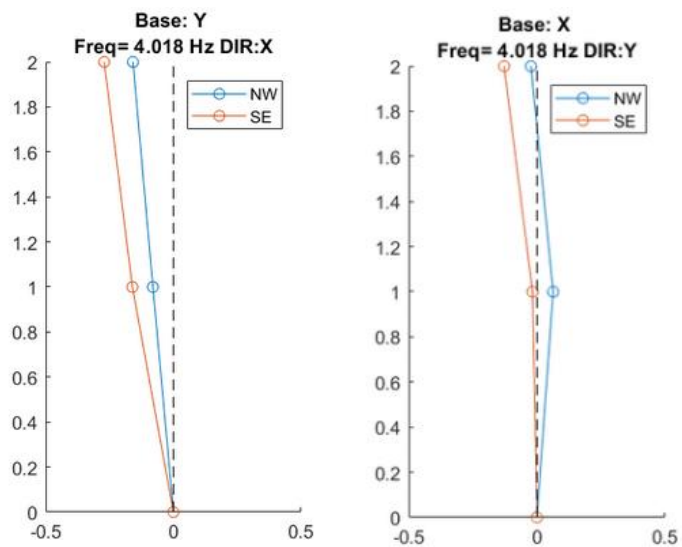
Segundo modo de vibrar y verificación de ángulos de fase bloque 1

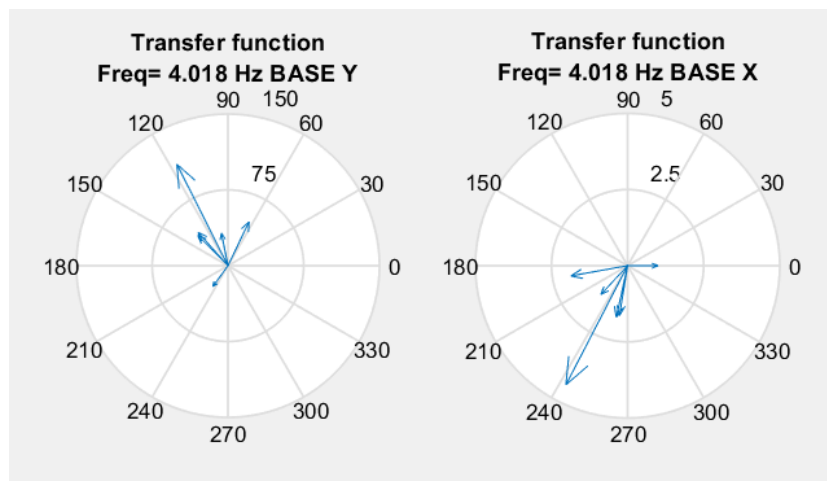


Nota: Modo 2 del bloque 1 de laboratorios de la UE3.

Figura 105

Tercer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 1



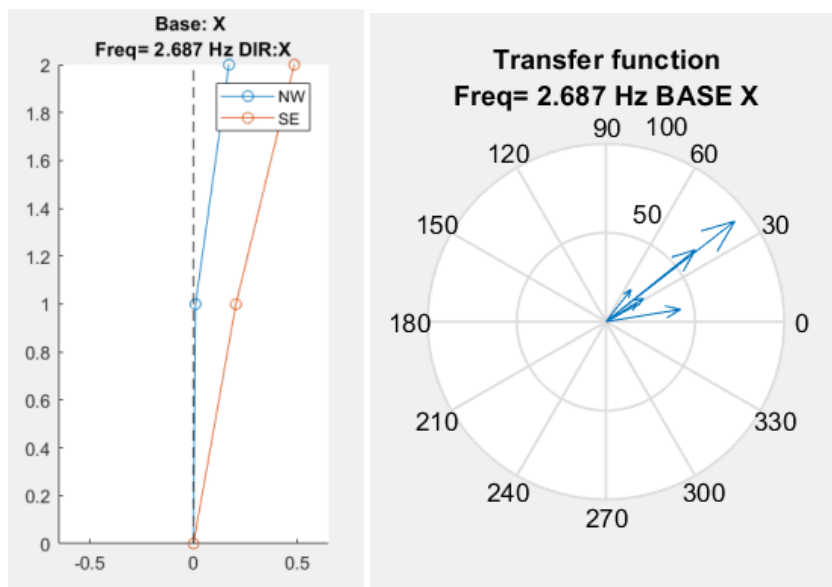


*Nota:* Modo 3 del bloque 1 de laboratorios de la UE3.

**Bloque 2.** De igual manera, se detallan los resultados determinados para el bloque 2 de laboratorios, donde se detalla los primeros tres modos de vibrar de la estructura y sus ángulos de fase.

**Figura 106**

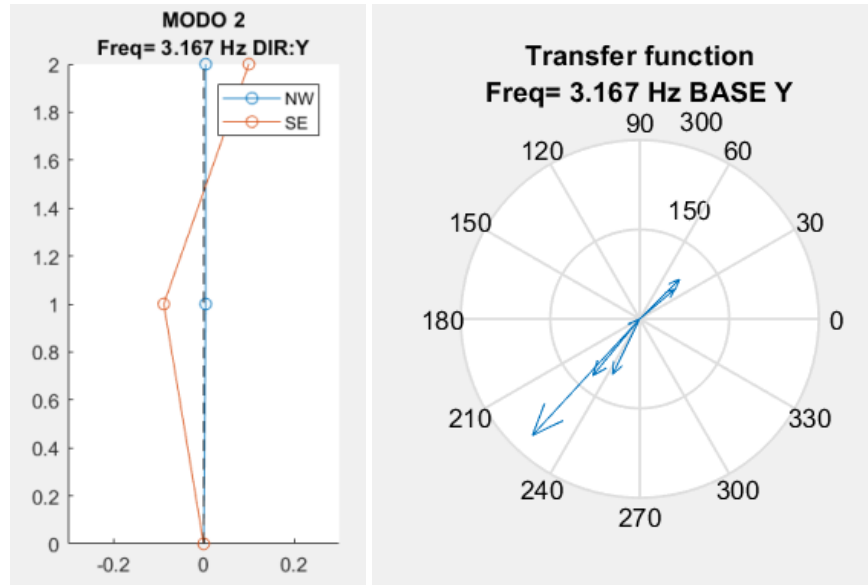
*Primer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 2*



*Nota:* Modo 1 del bloque 2 de laboratorios de la UE3.

Figura 107

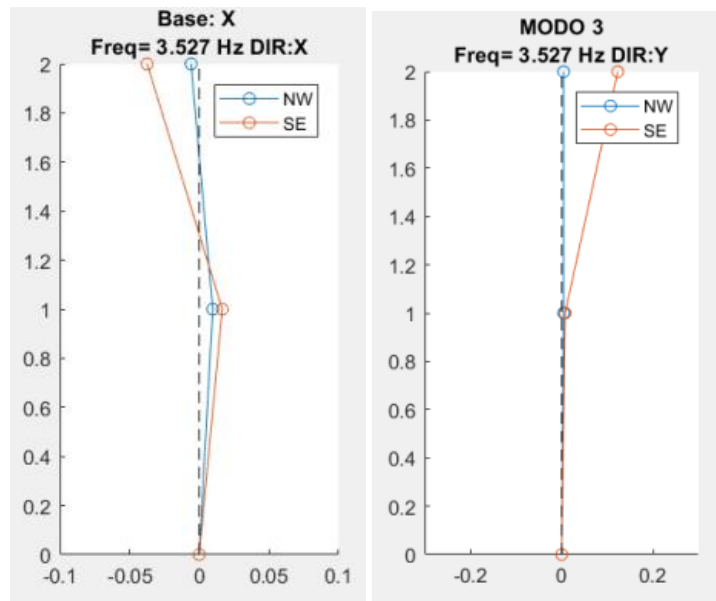
Segundo modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 2

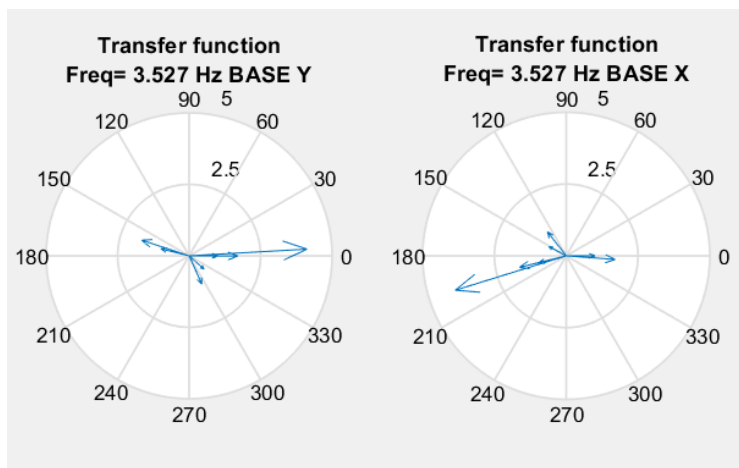


Nota: Modo 2 del bloque 2 de laboratorios de la UE3.

Figura 108

Tercer modo de vibrar y verificación de ángulos de fase del bloque 2





*Nota:* Modo 3 del bloque 2 de laboratorios de la UE3.

Bajo este proceso y con la ayuda de las herramientas mencionadas, se determinó los primeros modos de vibración de los bloques de laboratorio de la Unidad Educativa 3. Los valores de los modos de vibración del bloque 1 y 2 se encuentran detallados en la Tabla 82 y Tabla 83, respectivamente.

### ***Comparación con el modelo***

Este apartado realiza la comparación, de los modos de vibración, entre los resultados obtenidos con la ayuda del ensayo de vibración ambiental, con los valores determinados del modelo calibrado de SeismoStruct. La Tabla 82 y 83 presentan los valores del bloque 1 y bloque 2, respectivamente.

### **Tabla 82**

#### *Comparación de modos de vibración modelados y ensayados del bloque 1*

Modelo Calibrado - Bloque 1			Ensayo Vibración Ambiental - Bloque 1		
Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)	Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)
1	0,447	2,238	1	0,457	2,190
2	0,292	3,427	2	0,287	3,489
3	0,252	3,969	3	0,249	4,018

*Nota:* Periodos y frecuencias del bloque 1 de la UE3.

**Tabla 83**

*Comparación de modos de vibración modelados y ensayados del bloque 2*

Modelo Calibrado - Bloque 2			Ensayo Vibración Ambiental - Bloque 2		
Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)	Modo	Periodo (seg)	Frecuencia (Hz)
1	0,374	2,672	1	0,372	2,687
2	0,323	3,093	2	0,316	3,167
3	0,286	3,495	3	0,284	3,527

*Nota:* Periodos y frecuencias del bloque 2 de la UE3.

## **Resultados**

### ***Análisis estático No Lineal o Pushover adaptativo basado en fuerzas***

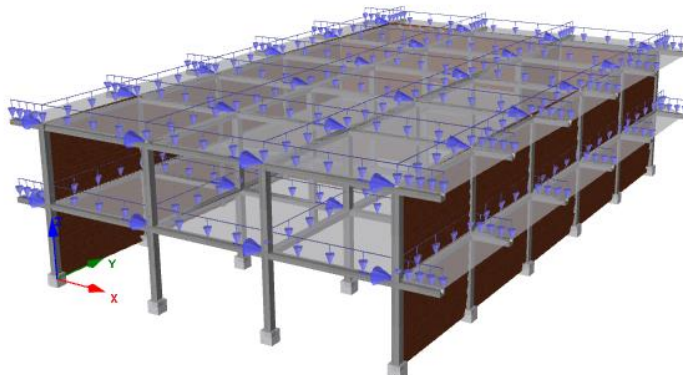
El presente apartado, detalla el modelo de la estructura con las fuerzas incrementales en cada uno de los nudos, tanto en el sentido “X” como “Y” de los bloques de laboratorio. Bajo esta distribución se realizó el análisis Pushover Adaptativo de las edificaciones. Además, se presenta la curva de capacidad de la estructura, correspondiente a la distribución de cargas indicada.

Cabe recordar que el análisis de Pushover Adaptativo se realizó para dos casos de cargas como se menciona en el capítulo anterior de caracterización. El primer caso considera las cargas establecidas por la Normativa de la Construcción Ecuatoriana NEC-SE-CG para fábricas/industria/Manufactura con la clasificación liviana, mientras que el Caso 2 se basa en un estado más real de las cargas presentes en el bloque, considerando los equipos existentes en el mismo.

**Caso 1.** Las Figuras 109 y 110 pertenecen al sentido X del bloque 1, mientras que las Figuras 111 y 112 al sentido Y del bloque 1. En estas se indica la distribución de cargas incrementales y su curva de capacidad.

### **Figura 109**

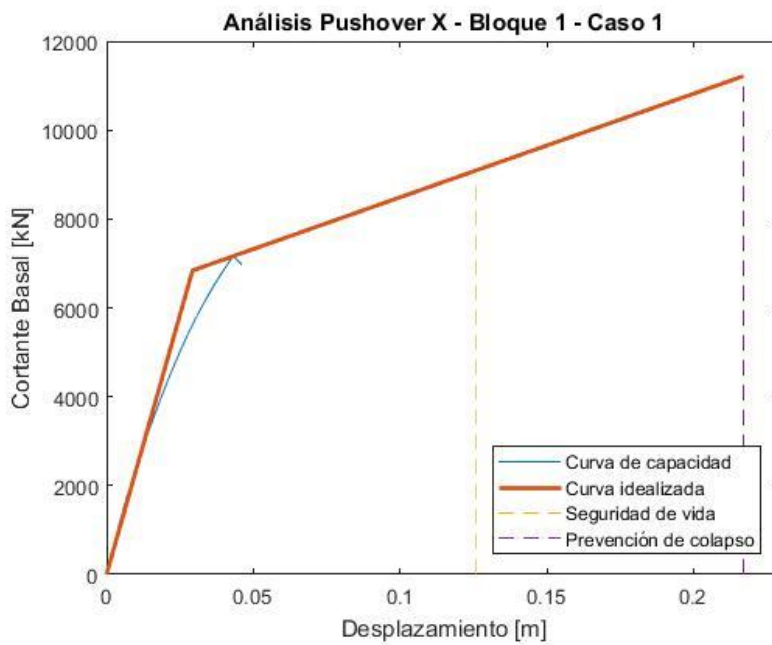
*Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 1 – Caso 1*



*Nota:* Estado de carga para caso 1 en sentido X de bloque 1.

**Figura 110**

*Curva de capacidad en sentido X del bloque 1 – Caso 1*

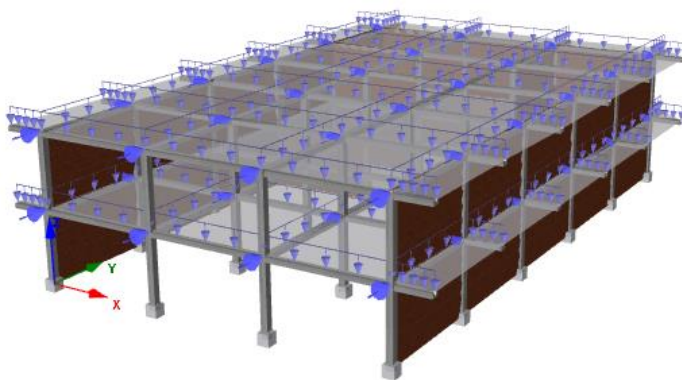


*Nota:* Curva de capacidad para caso 1 en sentido X de bloque 1.

**Figura 111**

*Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 1 – Caso 1*

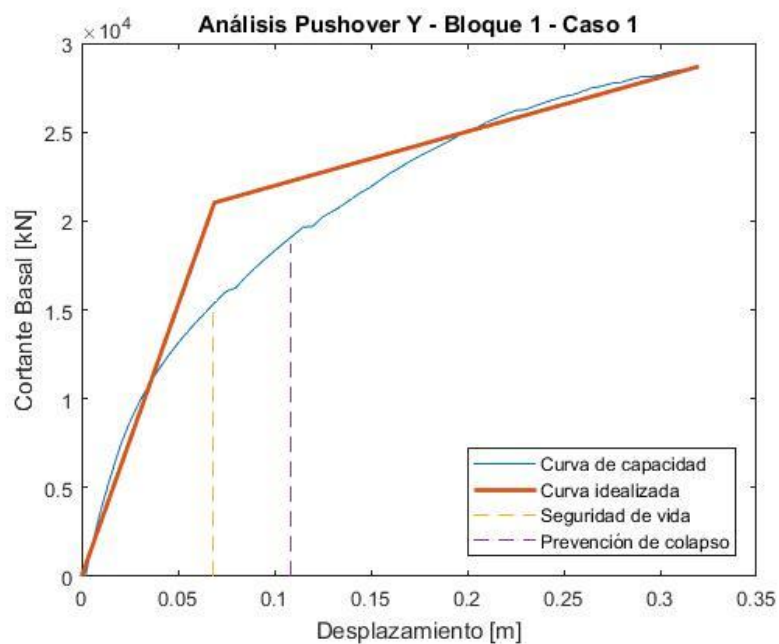




*Nota:* Estado de carga para caso 1 en sentido Y de bloque 1.

**Figura 112**

*Curva de capacidad en sentido Y del bloque 1 – Caso 1*

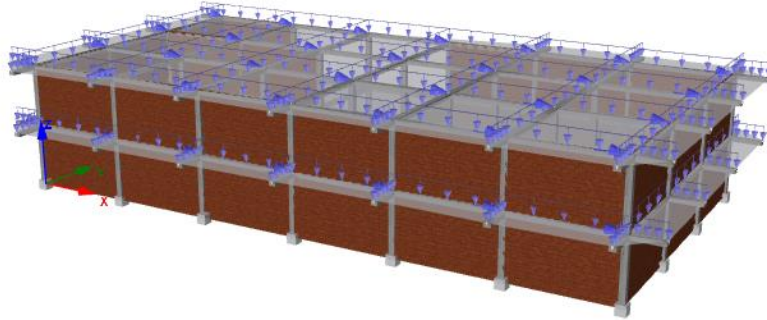


*Nota:* Curva de capacidad para caso 1 en sentido Y de bloque 1.

A continuación, las Figuras 113 y 114 pertenecen al sentido X del bloque 2, mientras que las Figuras 115 y 116 al sentido Y del bloque 2. De igual manera, se presenta la distribución de cargas incrementales y la curva de capacidad correspondiente.

**Figura 113**

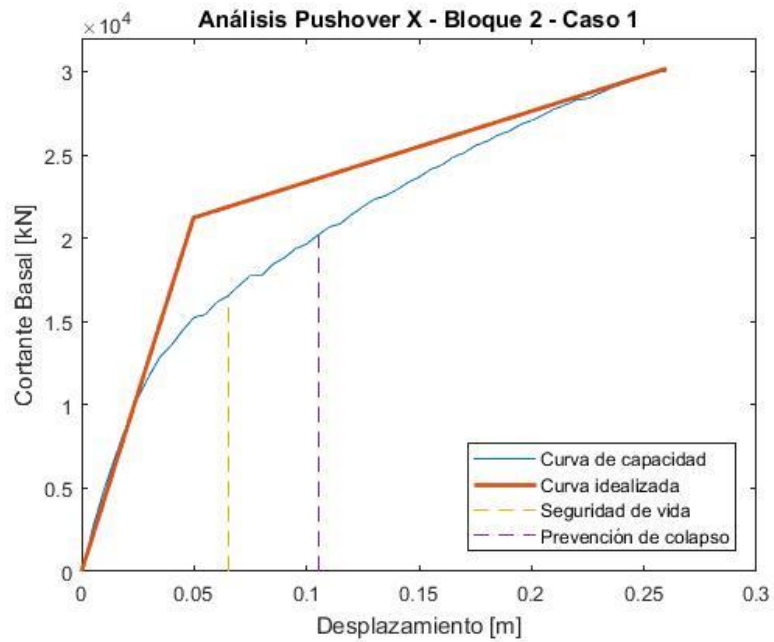
*Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 2 – Caso 1*



*Nota:* Estado de carga para caso 1 en sentido X de bloque 2.

**Figura 114**

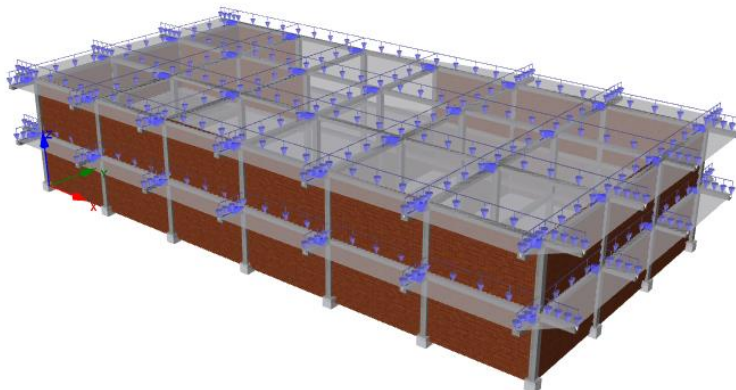
*Curva de capacidad en sentido X del bloque 2 – Caso 1*



*Nota:* Curva de capacidad para caso 1 en sentido X de bloque 2.

**Figura 115**

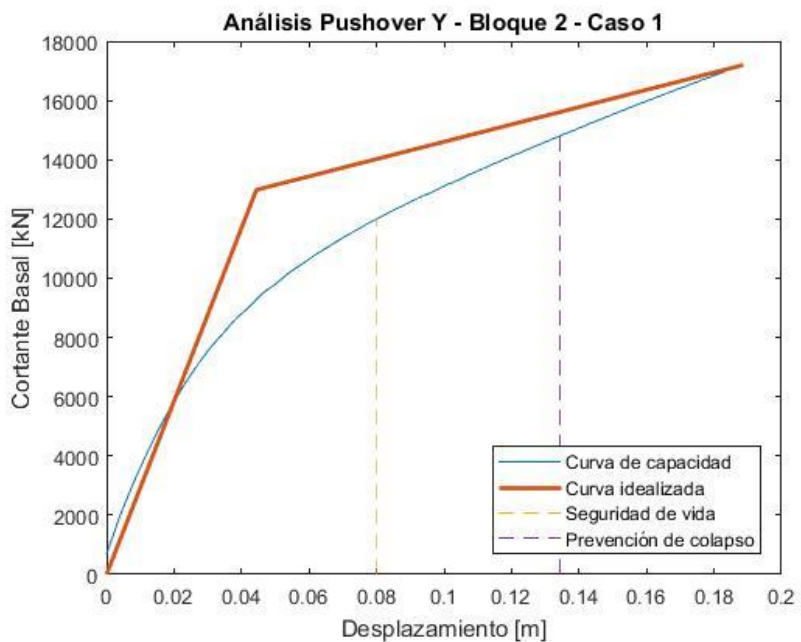
*Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 2 – Caso 1*



*Nota:* Estado de carga para caso 1 en sentido Y de bloque 2.

**Figura 116**

*Curva de capacidad en sentido Y del bloque 2 – Caso 1*

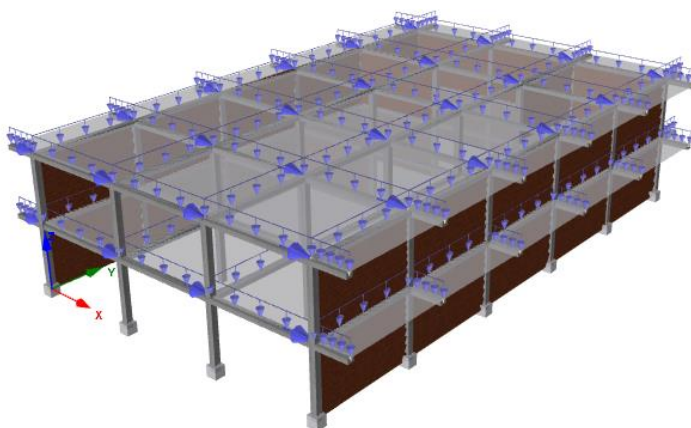


*Nota:* Curva de capacidad para caso 1 en sentido Y de bloque 2.

**Caso 2.** Las Figuras 117 y 118 pertenecen al sentido X del bloque 1, mientras que las Figuras 119 y 120 al sentido Y del bloque 1. Se presenta la distribución de cargas y la curva de capacidad, correspondientes al caso 2 de cargas.

**Figura 117**

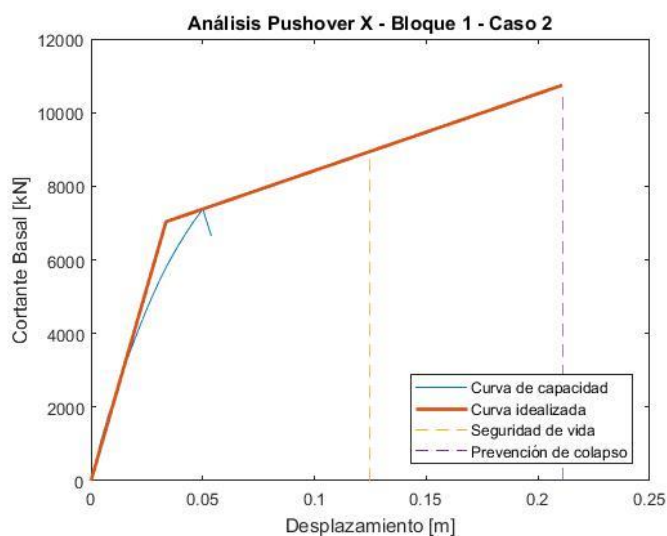
*Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 1 – Caso 2*



*Nota:* Estado de carga para caso 2 en sentido X de bloque 1.

**Figura 118**

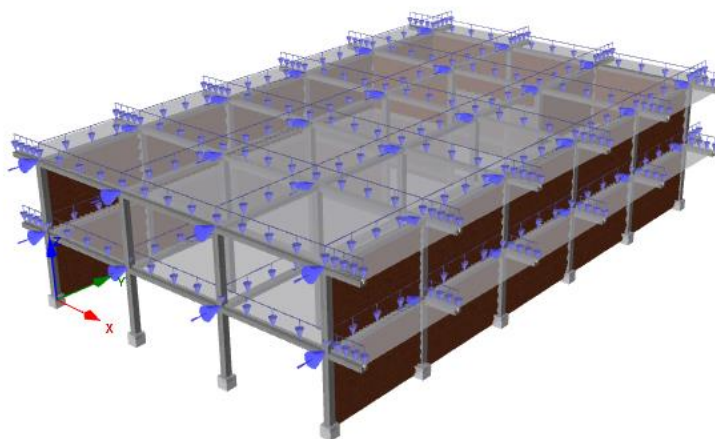
*Curva de capacidad en sentido X del bloque 1 – Caso 2*



*Nota:* Curva de capacidad para caso 2 en sentido X de bloque 1.

**Figura 119**

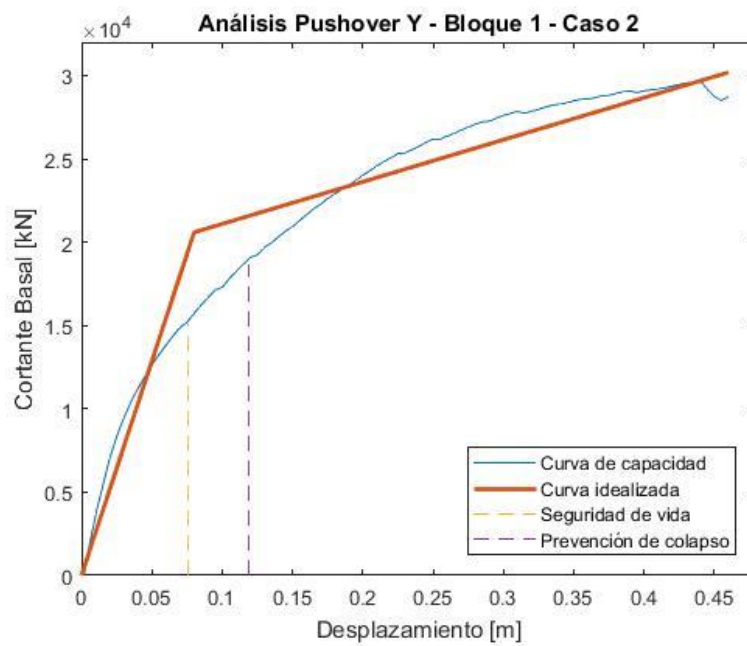
*Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 1 – Caso 2*



*Nota: Estado de carga para caso 2 en sentido Y de bloque 1.*

**Figura 120**

*Curva de capacidad en sentido Y del bloque 1 – Caso 2*

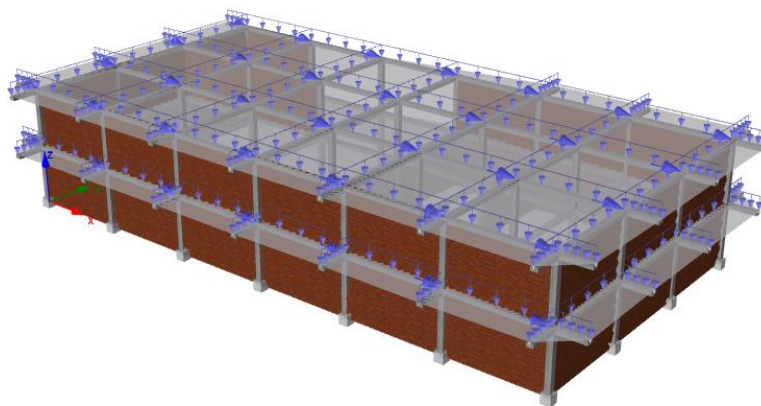


*Nota: Curva de capacidad para caso 2 en sentido Y de bloque 1.*

Las Figuras 121 y 122 pertenecen al sentido X del bloque 2, mientras que las Figuras 123 y 124 al sentido Y del bloque 2.

### Figura 121

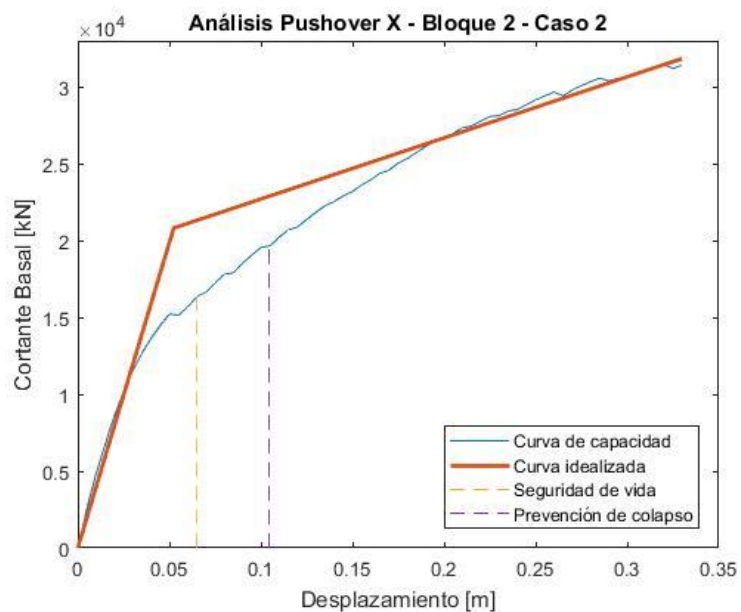
*Distribución de cargas incrementales en el sentido X del bloque 2 – Caso 2*



*Nota:* Estado de carga para caso 2 en sentido X de bloque 2.

### Figura 122

*Curva de capacidad en sentido X del bloque 2 – Caso 2*

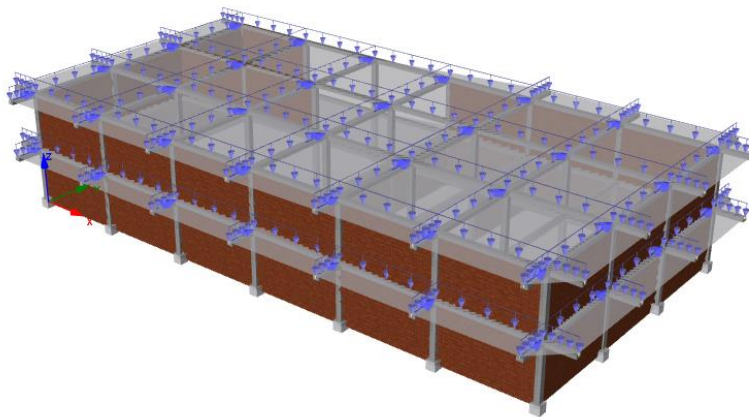


*Nota:* Curva de capacidad para caso 2 en sentido X de bloque 2.



**Figura 123**

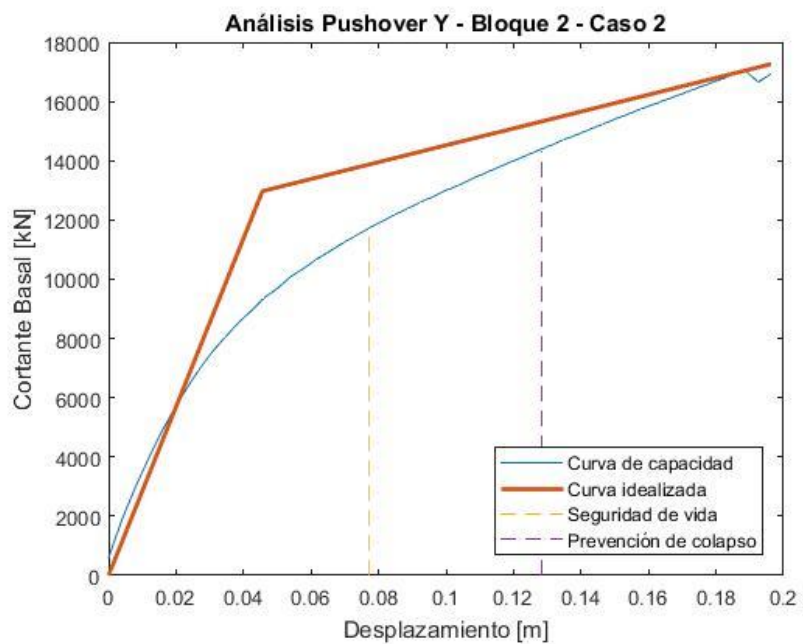
*Distribución de cargas incrementales en el sentido Y del bloque 2 – Caso 2*



*Nota:* Estado de carga para caso 2 en sentido Y de bloque 2.

**Figura 124**

*Curva de capacidad en sentido Y del bloque 2 – Caso 2*



*Nota:* Curva de capacidad para caso 2 en sentido Y de bloque 2.

## **Resultados de los análisis**

Cabe mencionar que el análisis de resultados se encuentra en función del peor escenario que podría presentar las estructuras de los bloques de la Unidad Educativa 3. De acuerdo al Análisis Estático No Lineal (Pushover), el caso 1 de cargas es el más crítico de las estructuras, ya que en este se producen los menores desplazamientos previos a producirse el colapso.

De acuerdo a los resultados obtenidos, para el bloque 1 de laboratorios, se puede afirmar que el sentido X de la estructura es el lado más crítico por efectos de torsión con un desplazamiento máximo de 0,0462 m antes de la pérdida de convergencia del modelo. En este sentido la estructura no cumple con los desplazamientos objetivos de seguridad de vida y prevención de colapso, lo que lleva a la conclusión preliminar, que la estructura en este sentido no soporta el máximo sismo considerado en un nivel considerable de daño sin colapsar. Caso contrario sucede en el sentido Y, donde se cumple con los desplazamientos objetivos, haciendo que soporte el máximo sismo considerado.

Para el bloque 2 de laboratorios, se presenta que el sentido Y de la estructura es el más crítico con un desplazamiento máximo de 0,189 m antes de la pérdida de convergencia del modelo. Cabe destacar que los dos sentidos de las estructuras cumplen con los desplazamientos objetivos de seguridad de vida y prevención de colapso, lo que permite concluir que la estructura soporta el máximo sismo considerado en un nivel de considerable daño sin colapsar.

## **Determinación de Tiempo de recuperación**

### ***PACT***

De acuerdo a la metodología presentada en la FEMA P-58 es necesario realizar una descripción completa de la estructura para dar inicio a su evaluación de desempeño. Dado a este caso, en la Tabla 84 y 85, se presentan los datos requeridos por la herramienta PACT como parte



de la información básica para el análisis de la estructura del bloque 1 y bloque 2, respectivamente.

**Tabla 84**

*Información básica para determinación del tiempo de recuperación – B1*

<b>Bloque 1 - Laboratorios</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Observación</b>
Número de pisos	2	1 piso, 1 terraza
Tiempo de Reemplazo	6 meses	
Máximo de Trabajores por Pie Cuadrado	0,01	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Umbral de Pérdida Total	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Área de nivel +0,00	771,16	m <sup>2</sup>
Área de nivel +3,85	771,16	m <sup>2</sup>
Área de nivel +7,70	771,16	m <sup>2</sup>
Altura del primer piso	3,85	m
Altura de entrepiso	3,85	m
Factor de Altura	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de Materiales Peligrosos	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de ocupación	1,1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.9
Tipo de ocupación	Unidad Educativa	Modelo poblacional "Elementary Schools"

*Nota:* Determinación del tiempo de recuperación mediante el PACT del bloque 1.

**Tabla 85**

*Información básica para determinación del tiempo de recuperación – B2*

<b>Bloque 2 - Laboratorios</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Observación</b>
Número de pisos	2	1 piso, 1 terraza
Tiempo de Reemplazo	6 meses	
Máximo de Trabajores por Pie Cuadrado	0,01	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Umbral de Pérdida Total	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.4
Área de nivel +0,00	915,34	m <sup>2</sup>
Área de nivel +3,85	915,34	m <sup>2</sup>
Área de nivel +7,70	915,34	m <sup>2</sup>
Altura del primer piso	3,85	m
Altura de entrepiso	3,85	m
Factor de Altura	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de Materiales Peligrosos	1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.6
Factor de ocupación	1,1	FEMA P-58 vol.2, sec.2 pg.9
Tipo de ocupación	Unidad Educativa	Modelo poblacional

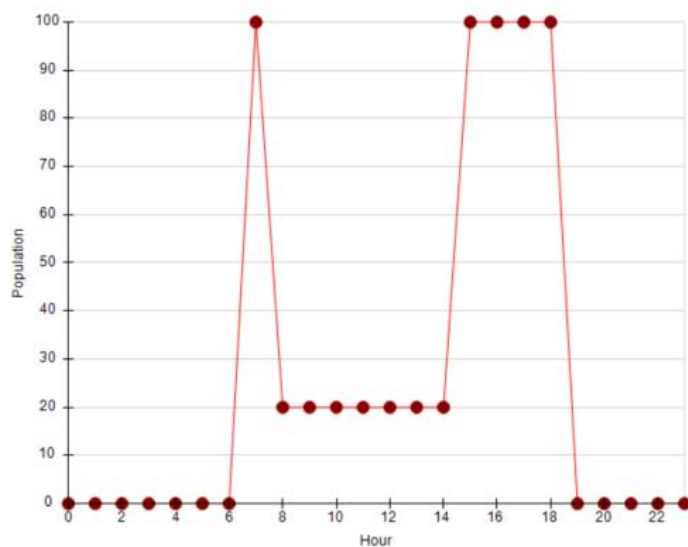
*Nota:* Determinación del tiempo de recuperación mediante el PACT del bloque 2.

### **Modelo Poblacional**

El modelo poblacional establecido en la metodología establece la cantidad de personas que se encuentran ocupando una edificación en un área de 1000 pies cuadrados, este modelo poblacional incorpora la definición, dentro de la hora máxima de ocupación, la población máxima esperada. Para los bloques 1 y 2 de laboratorios, el modelo poblacional seleccionado es el denominado "Education", este modelo de acuerdo a la metodología FEMA P-58, se establece para escuelas y colegios. Para el análisis se tomó una cantidad máxima de 20 personas por cada 1000 pies cuadrados (92,90 m<sup>2</sup>) en un horario pico. En la Figura 125 se presenta la distribución en función de las horas del día de la población.

### **Figura 125**

*Distribución horaria de la población en bloques de la UE3*



*Nota:* Modelo poblacional de los bloques de laboratorio de la UE3.

### **Grupos de fragilidades**

La FEMA P-58 en su base de datos presenta diferentes grupos de fragilidad dependiendo del material y las partes que representa la estructura. Para el siguiente análisis se utilizaron los siguientes grupos de fragilidades:

- B104: Elementos de concreto reforzado
  - B1041.002a: ACI-318 SMF Conc Col & Bm = 24" x 24". Beam one side
  - B1041.002b: ACI-318 SMF Conc Col & Bm = 24" x 36". Beam both sides
- B105: Elementos verticales de mampostería
  - B1051.001: Ordinary reinforced masonry walls with partially grouted cells, shear dominate, 4" to 6" thick. Up to 12 foot tall
- B202: Sistemas de ventanas exteriores
  - B2022.001: Curtain wall-generic midrise Stick-Built Curtain wall
- B304
  - B3041.001: Masonry Parapet – unreinforced, unbraced

- C303: Techos e iluminación de techo
  - C3034.001: Independent Pendant Lighting – non seismic

### Grupo de desempeño

Se presenta en la Tabla 86 y Tabla 87, para los bloques 1 y 2, los grupos de desempeño que caracterizan a los laboratorios de la UE3. Los grupos fueron seleccionados de acuerdo a la metodología, la misma que los divide en dos direcciones por piso y no direccional por grupo.

**Tabla 86**

#### Grupos de desempeño para bloque 1 de laboratorios

Grupos de desempeño Bloque 1 - Laboratorios											
Piso:	1	Education (k-12):		Piso:	2	Education (k-12):		Piso:	Cubierta	Education (k-12):	
Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D
<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>			
B1041.002a	Each	0	SDR	B1041.002a	Each	0	SDR				
B1041.002b	Each	24	SDR	B1041.002b	Each	24	SDR			NO APLICA	
B1051.001	Each	8	SDR	B1051.001	Each	9	SDR				
B2022.001	Each	5	SDR	B2022.001	Each	3	SDR				
<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>			
B1041.002a	Each	4	SDR	B1041.002a	Each	4	SDR				
B1041.002b	Each	20	SDR	B1041.002b	Each	20	SDR			NO APLICA	
B1051.001	Each	17	SDR	B1051.001	Each	14	SDR				
B2022.001	Each	11	SDR	B2022.001	Each	10	SDR				
<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>			
C3034.001	Each	30	ACC	B3041.001	Each	17	ACC	B3041.001	Each	17	ACC
				C3034.001	Each	30	ACC				

Abreviaturas  
P.D. Parámetro de demanda  
SDR Story Drift Ratio  
ACC Acceleration

\* Se trabaja con el modelo poblacional "Education (k-12): Elementary Schools" propuesto por el FEMA P-58

*Nota:* Grupos de desempeño de bloque 1 de laboratorios de la UE3.

**Tabla 87**

#### Grupos de desempeño para bloque 2 de laboratorios

Grupos de desempeño Bloque 2 - Laboratorios											
Piso:	1	Education (k-12):		Piso:	2	Education (k-12):		Piso:	Cubierta	Education (k-12):	
Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D	Fragilidad	Unidad	Cantidad	P.D
<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>				<b>DIRECCIÓN 1</b>			
B1041.002a	Each	0	SDR	B1041.002a	Each	0	SDR				
B1041.002b	Each	28	SDR	B1041.002b	Each	28	SDR			NO APLICA	
B1051.001	Each	17	SDR	B1051.001	Each	21	SDR				
B2022.001	Each	12	SDR	B2022.001	Each	12	SDR				
<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>				<b>DIRECCIÓN 2</b>			
B1041.002a	Each	4	SDR	B1041.002a	Each	4	SDR				
B1041.002b	Each	24	SDR	B1041.002b	Each	24	SDR			NO APLICA	
B1051.001	Each	12	SDR	B1051.001	Each	21	SDR				
B2022.001	Each	7	SDR	B2022.001	Each	7	SDR				
<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>				<b>NO DIRECCIONAL</b>			
C3034.001	Each	22	ACC	B3041.001	Each	21	ACC	B3041.001	Each	21	ACC
				C3034.001	Each	21	ACC				

Abreviaturas  
P.D. Parámetro de demanda  
SDR Story Drift Ratio  
ACC Acceleration

\* Se trabaja con el modelo poblacional "Education (k-12): Elementary Schools" propuesto por el FEMA P-58

*Nota:* Grupos de desempeño de bloque 2 de laboratorios de la UE3.

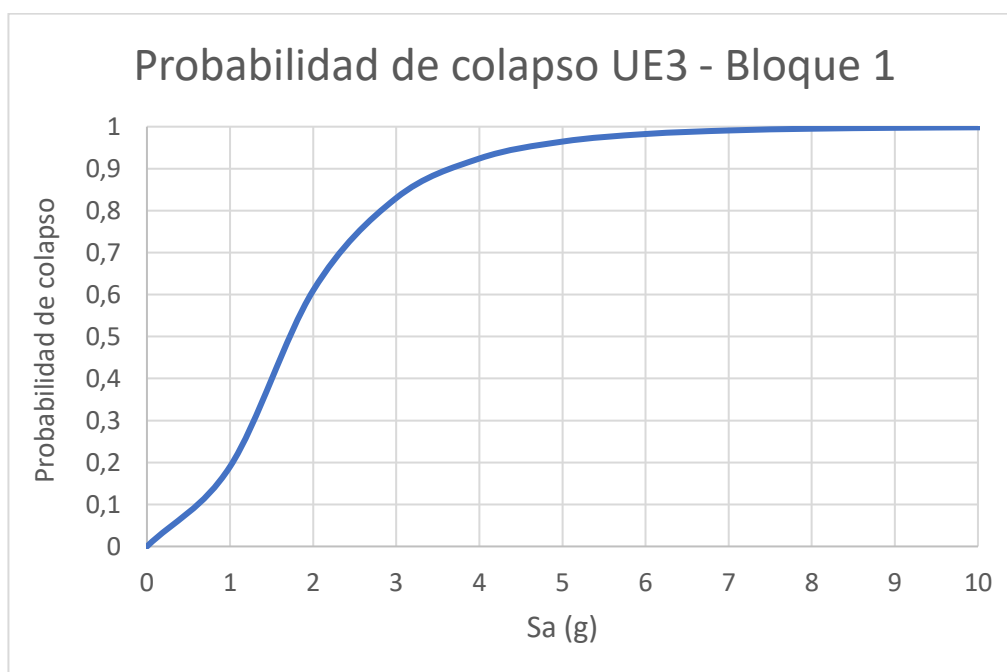
### **Curva de fragilidad**

Obtenidos los resultados del análisis no lineal estático adaptativo, la curva de capacidad se introduce en la herramienta electrónica SPO2IDA prevista por la FEMA P-58 V-3, con el objetivo de transformar los resultados a un análisis incremental dinámico aproximado.

Esta herramienta electrónica calcula la aceleración media de colapso. Para el caso de estudio se presenta que para el bloque 1 de laboratorios la aceleración media de colapso es 1,692 g la cual es asignada a una dispersión de 0,6, mientras que para el bloque 2 se tiene una aceleración media de colapso de 3,624g, con una dispersión asignada de 0,6. Estos resultados permiten calcular las curvas de fragilidad de las estructuras. Estas se presentan en la Figura 126 y Figura 127 (FEMA P58-1, 2018).

### **Figura 126**

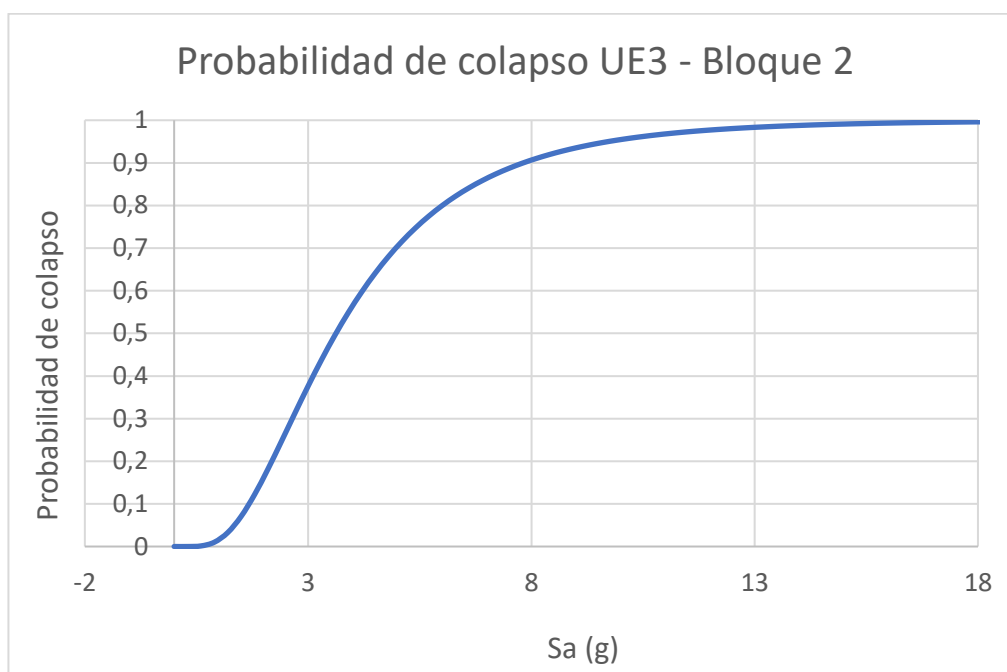
*Curva de fragilidad de la estructura del bloque 1 de laboratorios*



*Nota:* Estructura del bloque 1 de laboratorios y su curva de fragilidad.

**Figura 127**

*Curva de fragilidad de la estructura del bloque 2 de laboratorios*



*Nota:* Estructura del bloque 2 de laboratorios y su curva de fragilidad.

### **Modos de colapso**

Los modos de colapso se pueden presentar de varias formas, siendo estos colapsos de un piso único, varios pisos, o el colapso por completo de la edificación. Para los distintos modos que actúen en la estructura deben complementarse con su probabilidad de ocurrencia (Untuña, 2021). Para las estructuras de laboratorios se consideró un único modo de colapso, el mismo que representa el colapso total de la estructura. La probabilidad de ocurrencia adoptada para este caso es de 1 que representa el 100%. En la Tabla 88 se presentan las consecuencias de colapso del bloque 1 y bloque 2.

### **Tabla 88**

*Consecuencias de colapso del bloque 1 y 2 de laboratorios*

<i>Consecuencias de colapso - Bloque 1 y 2</i>				
<b>Piso</b>	<b>Tasa de mortalidad Media</b>	<b>Tasa de mortalidad COV</b>	<b>Tasa de lesiones Media</b>	<b>Tasa de lesiones COV</b>
2	1	0,5	1	0,5
1	1	0,5	1	0,5

*Nota:* Consecuencias de colapso considerando las tasas de mortalidad y lesiones de la UE3.

## Resultados

### *Resultados del análisis estructural*

Para concluir, se realiza un análisis estático lineal con las fuerzas aproximadas del cortante basal con el fin de obtener las derivas de piso y poder corregirlas en base a las fórmulas presentadas en el código ASCE 41-17. En la Tabla 89 y Tabla 90 se presenta el resumen de los valores obtenidos del análisis estático lineal del Bloque 1 y 2, respectivamente.

**Tabla 89**

*Resultados del análisis estático del bloque 1 – UE3*

<i>Resultados análisis estático - Bloque 1</i>			
<b>Piso</b>	<b>Deriva de piso - X</b>	<b>Deriva de piso - Y</b>	<b>Aceleración (g)</b>
2	0,01234107	0,00585217	2,38111395
1	0,0036655	0,00336812	2,42800134
Dispersión	0,255	0,255	0,269

*Nota:* Derivas de piso y aceleración del Bloque 1 de la UE3.

**Tabla 90**

*Resultados del análisis estático del bloque 2 – UE3*

<i>Resultados análisis estático - Bloque 2</i>			
<b>Piso</b>	<b>Deriva de piso - X</b>	<b>Deriva de piso - Y</b>	<b>Aceleración (g)</b>
2	0,00627795	0,01088252	2,42464136
1	0,00370003	0,00451241	2,47238586
Dispersión	0,255	0,255	0,269

*Nota:* Derivas de piso y aceleración del Bloque 2 de la UE3.

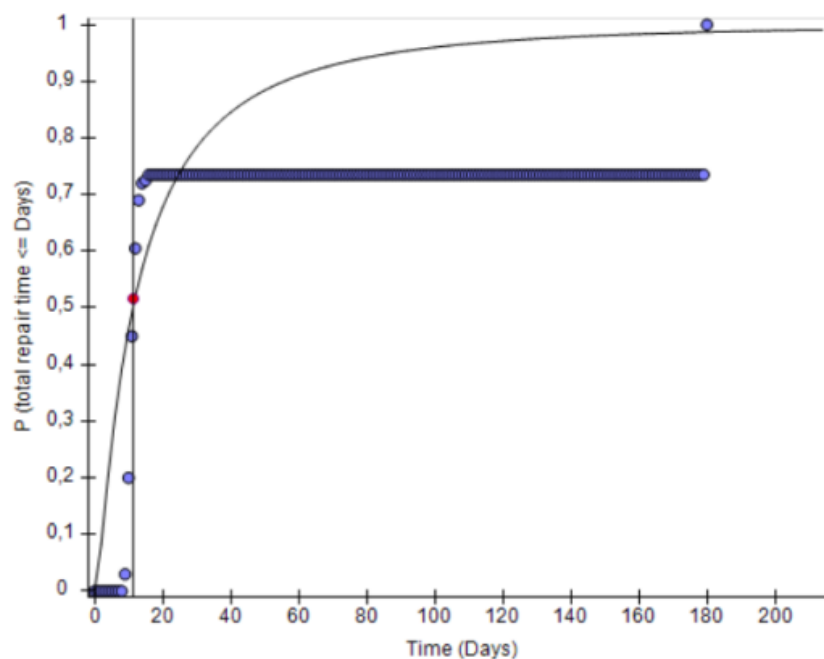
Para el presente análisis no se consideró el cálculo de la deriva residual en la determinación del tiempo de recuperación de las estructuras de laboratorio de la Unidad Educativa 3.

### **Resultados herramienta PACT**

La herramienta PACT presenta distintos cálculos, uno de ellos es la secuencia y evaluación del desempeño de la estructura en función del tiempo y costo. Este será implementado para el estudio de los Bloques 1 y 2 de laboratorios de la Unidad Educativa 3. En la Figura 128 y Figura 129 se establece la curva de probabilidad de un tiempo de recuperación promedio para sus respectivos grupos de fragilidad de los bloques. El tiempo considerado está basado en la hipótesis donde las reparaciones se realizan paralelamente en todos los niveles de la estructura.

### **Figura 128**

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio del bloque 1*

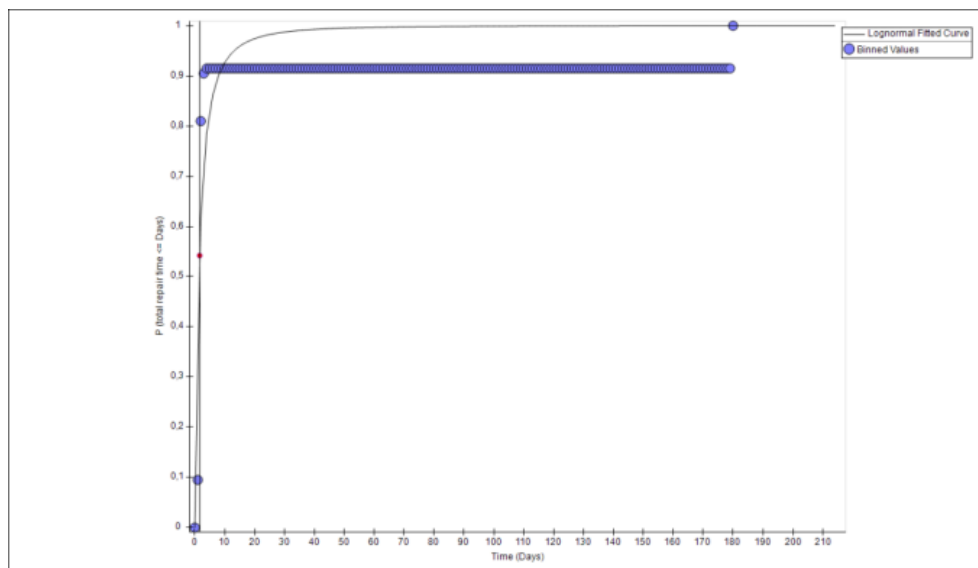




*Nota:* Curva de probabilidad de excedencia del Bloque 1 de la UE3 para tiempo promedio de reparación.

### Figura 129

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación promedio del bloque 2*



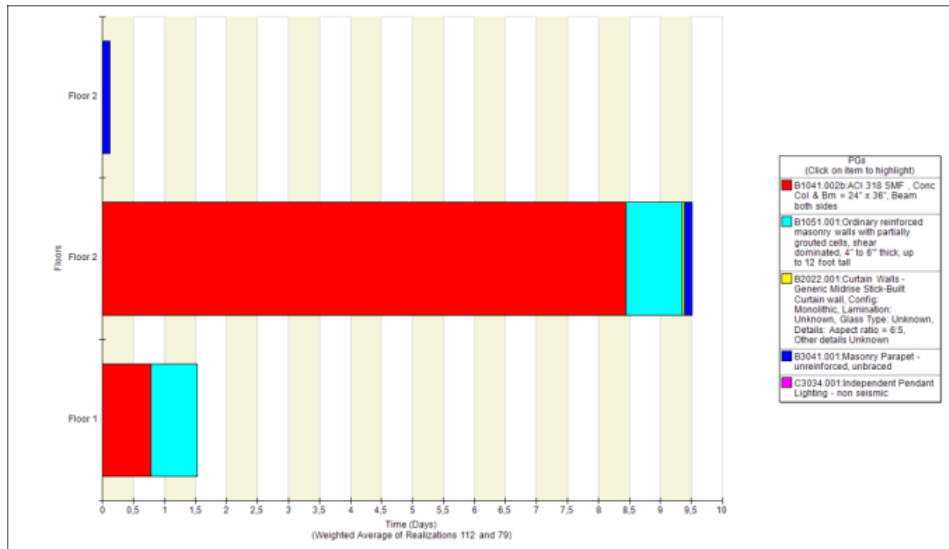
*Nota:* Curva de probabilidad de excedencia del Bloque 2 de la UE3 para tiempo promedio de reparación.

En la Figura 128, para el bloque 1 se puede apreciar un tiempo promedio de reparación de 9,5 días y en la Figura 129 para el bloque 2 un tiempo promedio de reparación de 1,6 días.

Las Figuras 130 y 131 muestran los grupos de fragilidad involucrados, así como su tiempo paralelo de reparación en base de los niveles de daño determinados por la herramienta.

### Figura 130

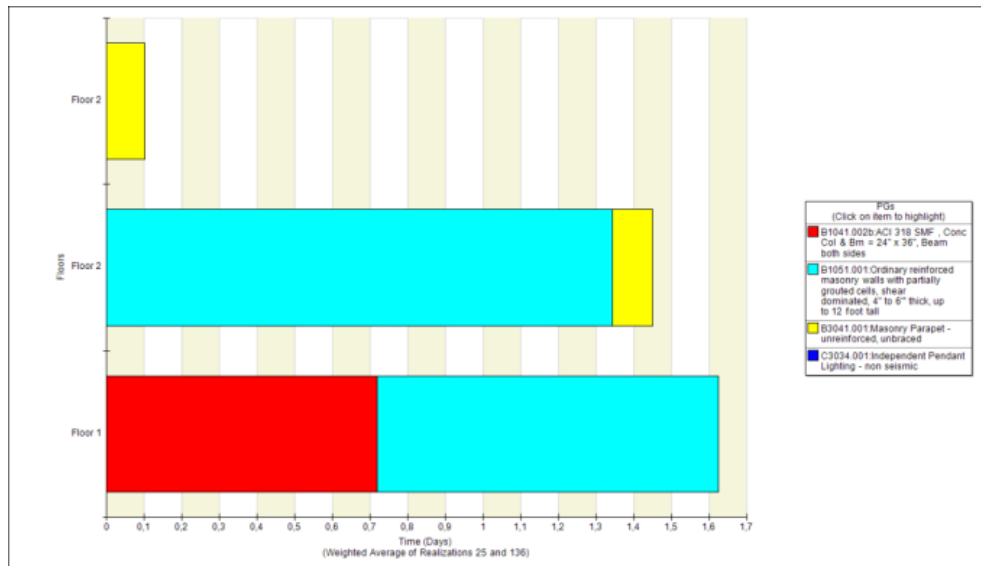
*Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación para el bloque 1*



Nota: Tiempo paralelo promedio de reparación del Bloque 1 de la UE3 y grupos de fragilidad.

Figura 131

Grupos de fragilidad y tiempo paralelo de reparación para el bloque 2



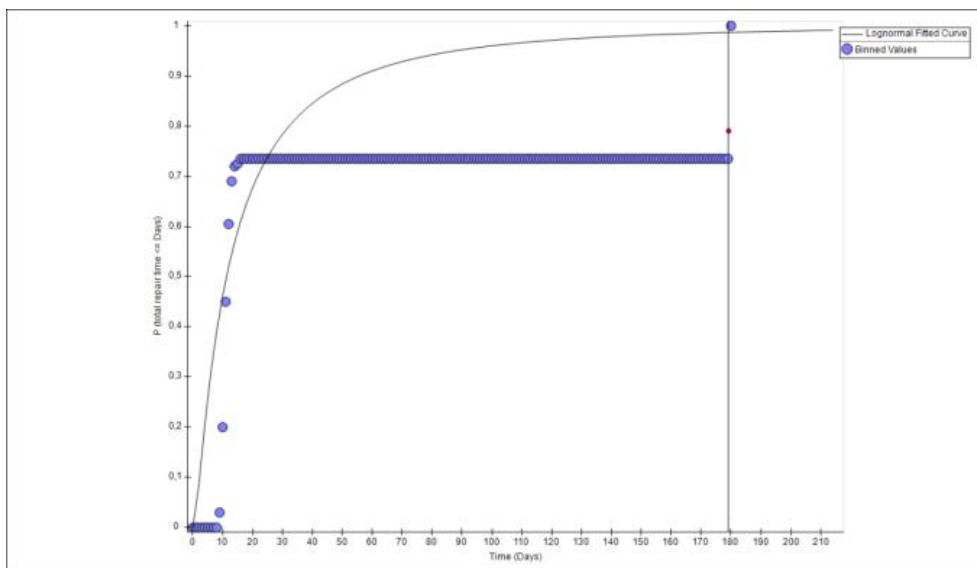
Nota: Tiempo paralelo promedio de reparación del Bloque 2 de la UE3 y grupos de fragilidad.

En los diferentes escenarios planteados por la herramienta PACT, el peor de los casos se presenta por la mayor cantidad de daños basados en la intensidad del espectro de diseño con una mayoración de 1,3 veces el factor de importancia. Este escenario considera una reparación

paralela de daños por piso. En la Figura 132 y Figura 133, se presenta la curva de probabilidad de reparación para el peor de los casos del bloque 1 y 2, respectivamente.

### Figura 132

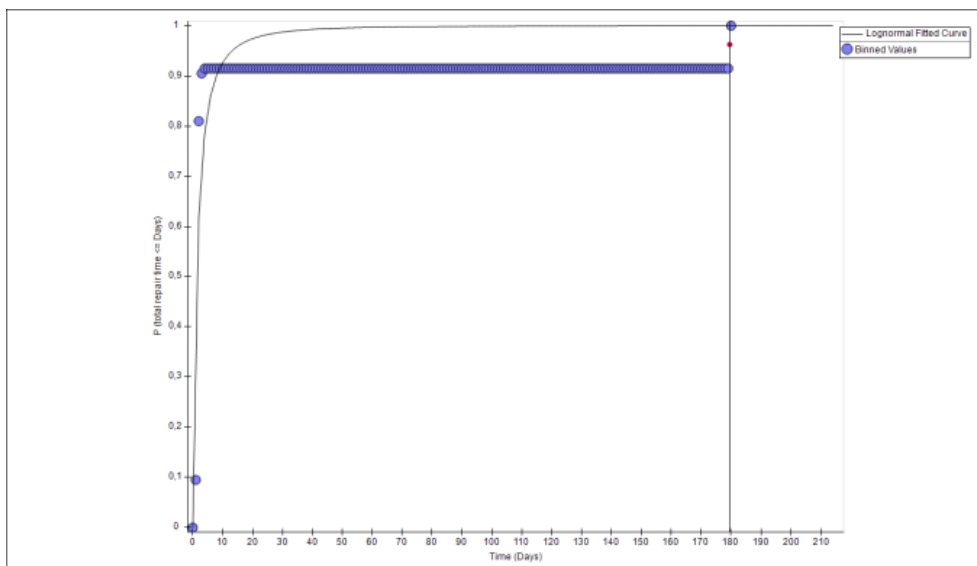
*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el peor de los casos del bloque 1*



*Nota:* Curva de probabilidad de excedencia del Bloque 1 de la UE3 para tiempo de reparación en el peor de los casos.

### Figura 133

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación en el peor de los casos del bloque 2*

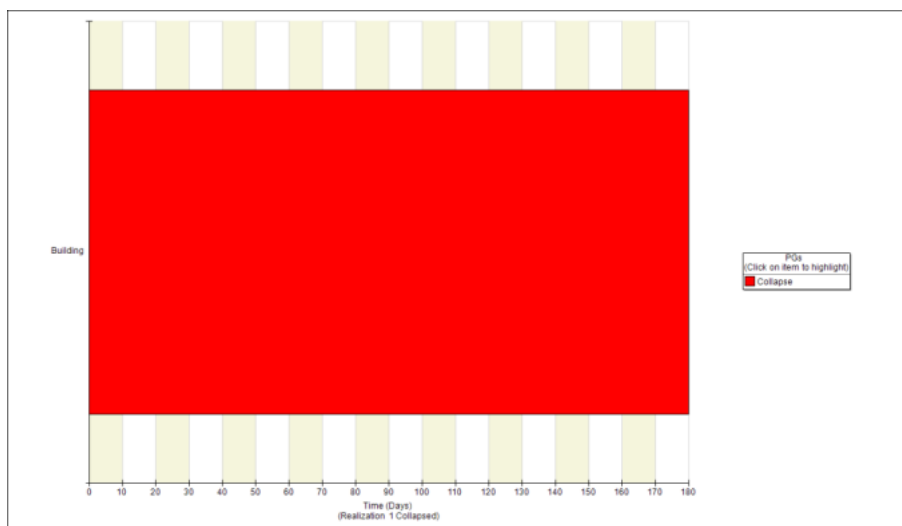


*Nota:* Curva de probabilidad de excedencia del Bloque 2 de la UE3 para tiempo de reparación en el peor de los casos.

En base a las Figuras 132 y 133, donde se presenta el tiempo de reparación en el peor de los casos, se establece un tiempo de recuperación en paralelo, siguiendo el mismo criterio. Este es presentado en la Figura 134 y 135 a continuación.

### Figura 134

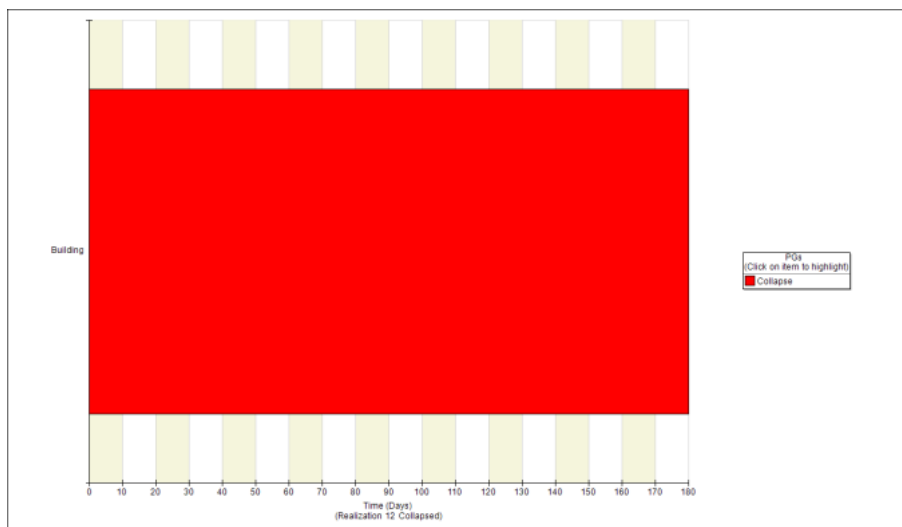
*Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo de reparación para el bloque 1*



*Nota:* Tiempo paralelo de reparación en el peor de los casos del Bloque 1 de la UE3 y grupos de fragilidad.

### Figura 135

*Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo de reparación para el bloque 2*

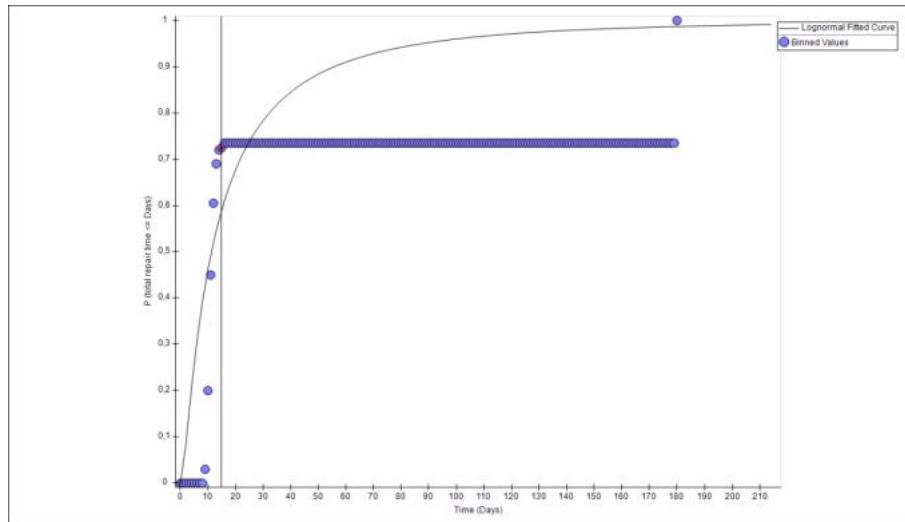


*Nota:* Tiempo paralelo de reparación en el peor de los casos del Bloque 2 de la UE3 y grupos de fragilidad.

Sin embargo, se presenta el punto límite de recuperación previo al colapso. En la Figura 136 y 137 se presenta la curva de probabilidad de un tiempo de recuperación para sus respectivos grupos de fragilidad de los bloques

### Figura 136

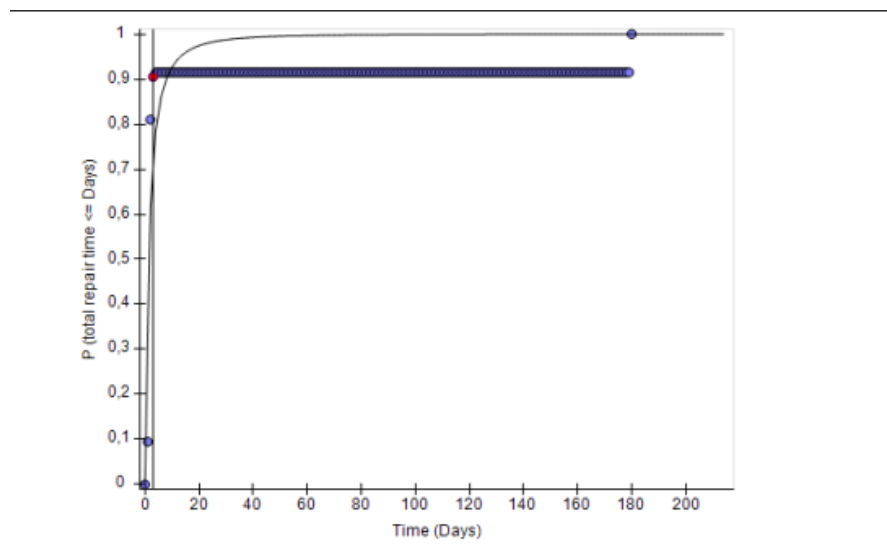
*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación límite del bloque 1*



*Nota:* Curva de probabilidad de excedencia del Bloque 1 de la UE3 para tiempo de reparación límite.

**Figura 137**

*Curva de probabilidad de excedencia en el tiempo de reparación límite del bloque 2*



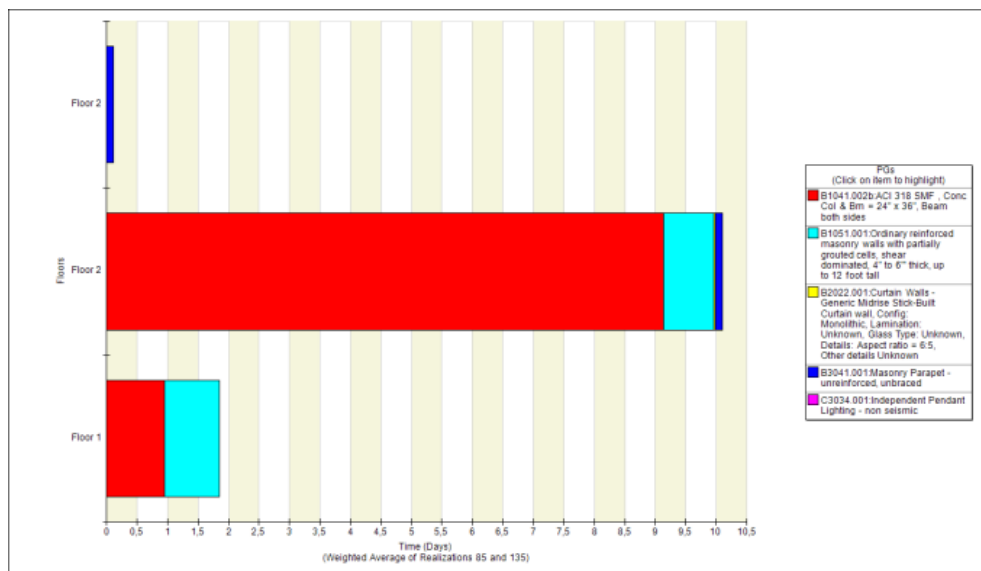
*Nota:* Curva de probabilidad de excedencia del Bloque 2 de la UE3 para tiempo de reparación límite.

De acuerdo a las Figuras 136 y 137 donde se presenta el tiempo de reparación límite previo al colapso de los bloques, se tiene que para el bloque 1 presenta un tiempo de reparación de 10 días y para el bloque 2 un tiempo de 3,1 día aproximadamente.

Así mismo se presenta los grupos de fragilidad y tiempo en paralelo de recuperación límite de los bloques 1 y 2 de la UE3.

**Figura 138**

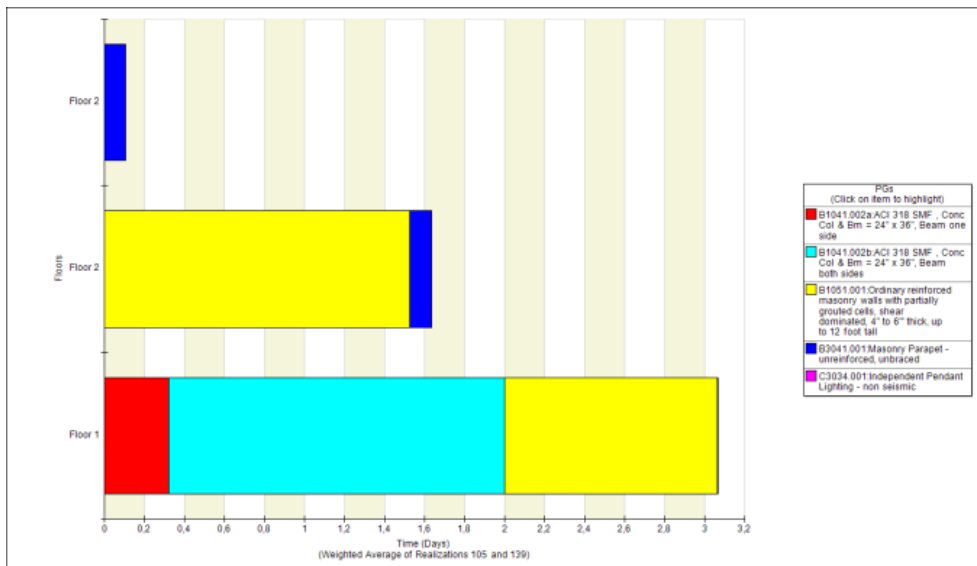
*Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo límite de reparación para el bloque 1*



*Nota:* Tiempo paralelo de reparación en límite del Bloque 1 de la UE3 y grupos de fragilidad.

**Figura 139**

*Grupos de fragilidad y tiempo en paralelo límite de reparación para el bloque 2*



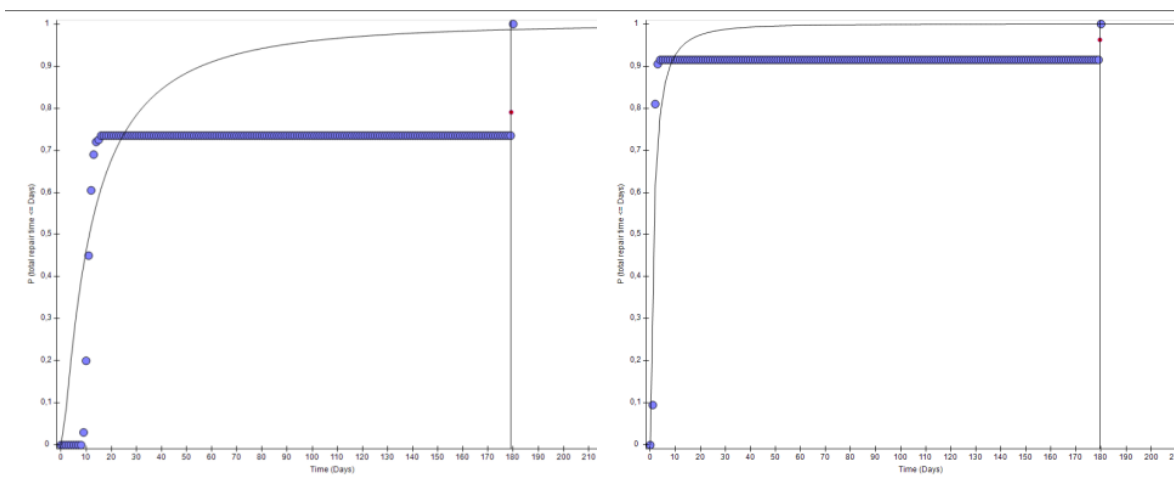
Nota: Tiempo paralelo de reparación en límite del Bloque 2 de la UE3 y grupos de fragilidad.

**Resumen de los resultados**

Los resultados del análisis del Pact se interpretan según la probabilidad que cada tipo de daño presenta y los días que requieren para su recuperación. Se han presentado tres casos según su probabilidad de ocurrencia, en la Figura 140 se puede observar que el comportamiento del bloque 2 lleva mucho más rápido al colapso.

**Figura 140**

*Comparación de curvas de probabilidad Bloque 1 y 2*



Nota: Curvas de probabilidad de excedencia que llevan al colapso.



- Con una probabilidad media las estructuras presentan daños en elementos estructurales, mampostería y elementos adicionales. Para el bloque 1 el tiempo de recuperación es de 9 días, pero para el bloque 2 el tiempo de recuperación es de 1,5 días, esto debido a que los daños que se presentan en esta probabilidad son distintos en las estructuras.
- La probabilidad en que se da el colapso en la estructura del bloque 1 es un 20% menor que la del bloque 2, a partir de ese punto los daños que tengan las estructuras ya no son recuperables.
- Se presenta el punto límite de reparación que tienen las estructuras, en el bloque 1 tiene una probabilidad del 70% con daños recuperables en 15 días. Para el bloque 2 la probabilidad es del 90% con daño recuperables en 3 días.

### **Recomendaciones específicas Unidad Educativa 3**

Conforme a los resultados obtenidos respecto al nivel de amenaza sísmico existente donde se consideró el sismo de diseño y máximo considerado de la edificación, incrementados en un treinta por ciento, para los objetivos de desempeño BSE-1-Seguridad de vida y BSE-2-Prevención de colapso, se generan las siguientes recomendaciones para la UE3 esperando alcanzar niveles de desempeño básicos que prevengan el colapso de la estructura.

- De acuerdo al análisis estático no lineal, mediante el cual se obtuvo las curvas de capacidad del bloque 1 y bloque 2, se observó desplazamientos máximos de 0,0462 metros y 0,189 metros, respectivamente, lo cual determinó que sus vigas presentan poca capacidad de resistir momentos. Bajo lo establecido se recomienda implementar sistemas de reforzamiento que ayuden a los elementos a aumentar su capacidad y así, en el caso del bloque 1, logre cumplir con los desplazamientos objetivos establecidos.

- El análisis estático no lineal presentó resultados desfavorables ante los dos casos de cargas temporales propuestos. Debido a esto es recomendable realizar una distribución adecuada de los equipos de manera que aquellos que representen un gran aporte de peso se reubiquen en la planta baja de las estructuras.
- La constitución geométrica y uso ocupacional de las estructuras de laboratorio, hace que la configuración de vigas embebidas con las dimensiones especificadas, sean insuficientes para satisfacer la demanda de la estructura. Esto se corrobora mediante el análisis PACT, donde el grupo de fragilidad de elementos de concreto son los que mayor tiempo de recuperación necesitan, lo que se traduce a que reciben un mayor daño.
- La presencia de mampostería no aislada ha representado una fuente de rigidez considerable para la estructura, además de absorber daño de acuerdo a la herramienta computacional PACT. En virtud de lo expuesto, se recomienda generar una correcta disposición de mampostería, ya que representaría una mejora tanto a nivel estructural como nivel estructural. Esta disposición debe ser simétrica, caso contrario se vuelve vulnerable a efectos de torsión, reduciendo así su desempeño ante las demandas solicitadas.
- Recopilando la información obtenida mediante los análisis sísmicos aplicados se puede ver que la estructura de cada bloque presenta una alta vulnerabilidad ante eventos sísmicos. Los elementos estructurales sufrirían graves daños por su baja capacidad a las cargas demandadas, presentándose el caso de colapso de estructura con una alta probabilidad, debido a que en este escenario los elementos estructurales tendrían daños irreparables. Es por esto que se recomienda tomar acciones inmediatas.

## Capítulo 10

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Del reconocimiento de campo, los ensayos no destructivos y la información técnica recopilada, se verificó que en la UE1 se cumplieron con las especificaciones estructurales de la edificación durante la fase de construcción. La UE2 presentó pequeñas variaciones no contempladas en la planificación como modificación de secciones, ampliaciones no contempladas en un plano estructural y detalle de elementos estructurales existentes. Para la UE3 se presentaron inconsistencias como una ampliación no contemplada, una distribución de equipos diferente a la existente y fue necesario complementar la información estructural mediante los ensayos.
- El software SeismoStruct presenta diversas facilidades para este tipo de estudios, puesto que tanto la simplicidad para introducción de datos determina una mayor exactitud del modelo. Además, la mayoría de análisis sísmico como lo son: estáticos y dinámicos son desarrollados de una manera rápida y eficaz ahorrando tiempo en cada evaluación. Igualmente, La presencia de elementos tipo “infill” es especialmente destacable puesto que permiten una correcta calibración conforme a los resultados del ensayo de vibración ambiental.
- Se determinó que tanto el desempeño de la estructura como su tiempo de reocupación se ven fuertemente afectados y relacionados a la tipología de los pórticos estructurales, siendo los pórticos especiales resistentes a momento, que conforman a la UE1, los que presentan un mejor desempeño con tiempos de recuperación de 11 a 50 días para probabilidades en el rango de 50% a 95% previo a

casos de colapso. Para pórticos intermedios de la UE2, presentan una disminución progresiva del desempeño estructural entre sistemas, teniendo tiempos de recuperación de 30 a 150 días en el rango de probabilidad de 50% a 75%. Mientras que, para pórticos ordinarios de la UE3, dependiendo del bloque, se tienen tiempos de recuperación de 3 a 15 días en rango de 70% y 90%.

- En las tres unidades educativas se ha evidenciado que el correcto diseño de elementos no estructurales como mampostería puede evitar la generación de efectos no deseados como torsión que pueden llegar a comprometer la estructura, asimismo en la UE2 se evidenció que elementos como gradas se deben construir con su respectiva junta sísmica y no monolíticamente ya que estas colaboran a estos efectos torsionales. En caso de estructuras vulnerables como la UE3, se necesitan intervenciones más drásticas como el reforzamiento de elementos estructurales ante un eventual colapso de la estructura.
- La principal recomendación para el diseño y construcción de este tipo de estructuras, es la consideración de un correcto diseño de elementos no estructurales, así como la selección del sistema estructural adecuado. Mientras que para estructuras existentes un análisis como el llevado a cabo en este estudio es necesario para la toma de decisiones a tiempo por parte de las respectivas autoridades ya que de esto depende la capacidad de resiliencia comunitaria.

### **Recomendaciones**

- Para el proceso de reconocimiento de campo, instrumentación o cualquier ensayo in situ se recomienda seguir un protocolo organizado y planificado que contemple diferentes fases antes, durante y después del ensayo, de esta manera se agilizará el

tiempo de ejecución de los ensayos sin comprometer la calidad de los registros de datos que se obtenga.

- Para el modelamiento en el software SeismoStruct, respecto a los diferentes análisis estructurales (estático, dinámico, lineal o no lineal), se recomienda mantener un orden adecuado en los archivos de ingreso de datos, así como en los de guardado para evitar confusión en el análisis de datos o el ingreso de los mismos a otros programas o herramientas de análisis como el PACT.
- Para el análisis de resultados con respecto al tiempo de reocupación recomienda seguir la metodología FEMA P-58 pues presenta la herramienta PACT que relaciona las características geométricas de la estructura, presupuesto, ocupación, aforo, grupos de fragilidad al igual que su desempeño sísmico, este puede realizarse haciendo uso de normativas como el ASCE 41-17, NEC-SE-RE y más normativas que involucren la resiliencia en edificaciones.
- Se alienta a continuar investigaciones utilizando la metodología FEMA P-58 y FEMA P-2000 en futuros proyectos para estimar el tiempo de recuperación ante un evento sísmico a más edificaciones de ocupación especial existente con el fin de mejorar los entornos estructurales, mejorar el desempeño de las mismas y fomentar la resiliencia comunitaria en el Ecuador.
- Es indispensable que las autoridades y directivos tengan conciencia de la vulnerabilidad sísmica de las instituciones que administran, el conocer que medidas preventivas se pueden aplicar, puede ser una garantía de menores costos de reparación por daños estructurales, reducir el riesgo de pérdidas humanas, y alcanzar la resiliencia comunitaria.

### Referencias bibliográficas

- ACI. (2019). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*.
- ACI Committee 562. (2019). *ACI CODE-562-19: Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary*.
- Aguiar, R. (2012). *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB*. Quito: Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguiar/publication/279914782\\_Dinamica\\_de\\_Estructuras\\_con\\_CEINCI-LAB/links/559dd0ea08ae04e36508ffda/Dinamica-de-Estructuras-con-CEINCI-LAB.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguiar/publication/279914782_Dinamica_de_Estructuras_con_CEINCI-LAB/links/559dd0ea08ae04e36508ffda/Dinamica-de-Estructuras-con-CEINCI-LAB.pdf)
- Aguiar, R., & Mieles, Y. (2016). ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS QUE COLAPSARON EN PORTOVIEJO DURANTE EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 257-282.
- Aguiar, R., Quizanga, D., & Chicaiza, A. (2017). Espectros de Control para el Valle de los Chillos. *CIENCIA*, 77-93.
- Aguilar, R., & Ormeño, M. (2020). *Análisis adaptativo pushover estático no lineal por desempeño de una estructura de concreto armado, Lima-Perú*. Lima: Universidad Peruana Unión.
- Ahmadi, H., Mahdavi, N., & Bayat, M. (2020). *Applying Adaptive Pushover Analysis to Estimate Incremental Dynamic Analysis Curve*. New England: World Scientific Publishing Company.
- Amaguaña Amagua, D. E., & Yumba Agualongo, E. P. (2016). Análisis de la influencia del número de modos de vibración en la respuesta total de estructuras de hormigón armado. Quito.
- Arango, S., Paz, A., & Del Pilar Duque, M. (2013). Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño estructural de una estantería metálica. *Revista EIA*, 6(12), 139-154.
- Arango, S., Paz, A., & Duque, M. (2009). Propuesta Metodológica Para La Evaluación Del Desempeño Estructural De Una Estantería Metálica. *EIA*, 139-154.

- Arcentales, N. I., & Yépez, V. H. (2020). *EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DINÁMICA DEL HOSPITAL NAVAL GENERAL HOSNAG SOMETIDO A VIBRACIÓN AMBIENTAL*. Sangolquí.
- ASCE/SEI . (2017). *ASCE/SEI 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*.
- ASCE/SEI 41-06. (2007). *Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*.
- Aveiga, J., & Carvajal, J. (2018). *Análisis de pérdidas y estimación de daños utilizando la herramienta PACT del FEMA P58, en una edificación ubicada en la ciudad de Quito*. Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- BARONA, Á. M., & GUTIÉRREZ, D. A. (2017). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO PARA EL LABORATORIO DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE*. SANGOLQUI: ESPE.
- Barona, D. (2010). *VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CENTRO HISTÓRICO DE SANGOLQUÍ*. Quito: EPN.
- Carvajal, D. (2015). *Análisis comparativo de estructuras con y sin reforzamiento (FRP) mediante modelados en el software basado en elementos finitos seismostruct*. Manta: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras*. México: Pearson.
- Dassault Systèmes. (2017). *Análisis estático lineal*. Obtenido de [http://help.solidworks.com/2017/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Linear\\_Static\\_Analysis.htm#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20est%C3%A1tico%20lineal%20calcula,el%20efecto%20de%20cargas%20aplicadas.&text=Todas%20las%20cargas%20se%20aplican,que%20alcanzan%20sus%20mag](http://help.solidworks.com/2017/spanish/SolidWorks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.htm#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20est%C3%A1tico%20lineal%20calcula,el%20efecto%20de%20cargas%20aplicadas.&text=Todas%20las%20cargas%20se%20aplican,que%20alcanzan%20sus%20mag)
- FEMA. (2017). *FEMA P-1000, Safer, Stronger, Smarter: A Guide to Improving School Natural Hazard Safety*.

- FEMA. (2017). *Safer, Stronger, Smarter: A Guide to Improving School Natural Hazard Safety*. California: APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL.
- FEMA. (2018). *Seismic Performance Assessment of Buildings Volume 1- Methodology*.
- FEMA. (2021). *FEMA P 2090 - Recommended Options for Improving the Built Environment for Post-Earthquake Reoccupancy and Functional Recovery Time*.
- FEMA P58-1. (2018). *Seismic Performance Assessment of Buildings Assessment of Buildings*.  
Obtenido de <https://femap58.atcouncil.org/documents/fema-p-58/24-fema-p-58-volume-1-methodology-second-edition/file>
- Fernández, C. (2013). *Resistencia del hormigón mediante esclerómetro, ensayo y valor Fc*.  
Obtenido de <https://www.patologiasconstruccion.net/2013/11/resistencia-del-hormigon-mediante-esclerometro-2-ensayo-y-valor-fc/>
- Freire, C., & Yáñez, G. (2016). *SISTEMA DE CALIFICACIÓN DE COSTOS REDITM UTILIZANDO LA METODOLOGÍA FEMA P-58, APLICADA A EDIFICACIONES DE MEDIANA Y GRAN ALTURA*. Universidad de Fuerzas Armadas ESPE.
- García, M. (2018). *Estudio sobre la efectividad del factor de sobrerresistencia del criterio columna fuerte-viga débil en el diseño sísmico de pórticos de hormigón mediante el análisis dinámico no lineal*. Barcelona: Escuela Técnica Superios de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Gómez, I., Maldonado, E., & Chio, G. (2010). Pruebas de Vibración Ambiental en Puentes .  
*Revista UIS Ingenierías*, 55-68.
- Henao, D. (2013). *IDENTIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE UNA ESTRUCTURA SOMETIDA A VIBRACIÓN*. Medellín.
- Hibbeler, R. (2012). *Análisis Estructural*. México: Pearson.



- INGENIEROS ASESORES. (17 de Abril de 2018). *Carbonatación: un ataque a la durabilidad del hormigón*. Obtenido de <https://ingenierosasesores.com/actualidad/carbonatacion-un-ataque-a-la-durabilidad-del-hormigon/>
- Lara, A., & Martínez, K. (2020). *Análisis de vulnerabilidad sísmica y propuesta de reforzamiento estructural del "Hospital San Luis de Otavalo"*. Quito: ESPE.
- López, A. (30 de Enero de 2022). *Relación Columna Fuerte Viga Débil*. Obtenido de Academia.edu:  
[https://www.academia.edu/27710365/RELACION\\_COLUMNA\\_FUERTE\\_VIGA\\_DEVIL](https://www.academia.edu/27710365/RELACION_COLUMNA_FUERTE_VIGA_DEVIL)
- López, W., Marcillo, R., Pilco, R., & Villamizar, V. (2021). *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Sangolquí: ESPE.
- Lozano, A. (2009). *MARTILLO SCHMIDT (ESCLERÓMETRO)*. Obtenido de GEOENGINEERING SERVICES & CONSULTING E.I.R.L.
- Maldonado, R. (2012). *Sensibilidad y Seguridad de Estructuras de Hormigón en Régimen no Lineal*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Mathworks. (2022). *Compass*. Obtenido de Mathworks help center:  
<https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/compass.html>
- MIDUVI & SNGR. (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito: MIDUVI.
- MIDUVI. (2014). *Cargas (No sísmicas)*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- MIDUVI. (2014). *Norma ecuatoriana de la construcción .Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI .
- MIDUVI. (2014). *Norma Ecuatoriana de la construcción Peligro sísmico*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. Obtenido de

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Moncayo, M., Velasco, G., Mora, C., Montenegro, M., & Cordova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería*, 55-64.

Montserrat, N. (2013). *Relación entre el período fundamental de vibración y el índice de daño de un edificio de Hormigón Armado*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

MOP-DGOP. (2014). *Manual de Carreteras - Volumen N° 8 Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control*. Chile.

Mora, D., & Aguiar, R. (2015). Pushover multimodal en estructuras con disipadores de energía adas o tadas. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 157-197.

National Instruments. (2019). *National Instruments-Producto para diseñar el futuro*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/shop/data-acquisition.html>

Páez Vargas, C. A. (2014). *Determinación de la carga permanente debida al peso de mampostería de bloque en edificaciones de vivienda*. Quito. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6390/9.20.000010.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Paz, M., & Hoon Kim, Y. (2019). *Structural Dynamics Theory and Computation*. Louisville: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-94743-3>

Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Scielo*.

Rios, H. (2006). *Análisis del período y desplazamiento de edificios de hormigón armado considerando distintos grados de rigidez en sus elementos resistentes*. Universidad Católica del Norte.

- Ríos, J. (2016). *MEDICIONES DE VIBRACIÓN AMBIENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE EFECTO DE SITIO – APLICACIÓN CAMPUS PUCP*. 2016: Pontificia Universidad Católica del Perú .
- Saavedra, C. (29 de Octubre de 2016). *Material académico de materias de ingeniería civil en el área de estructuras*. Obtenido de <https://saavedraonline.wordpress.com/2016/10/29/verificacion-del-cortante-basal-segun-covenin-1756-2001/>
- Sattar, S., Ryan, K., Arendt, L., Bonowitz, D., Comerio, M., Davis, C., . . . Johnson, K. (2021). *Recommended Options for Improving the Built Environment for Post-Earthquake Reoccupancy and Functional Recovery Time*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology. doi:<https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1254>
- Seismosoft. (2021). *SeismoStruct 2021 - A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures,* available from <http://www.seismosoft.com>. Italy: Seismosoft Ltd.
- Senplades. (2016). *Evaluación de los Costos de Reconstrucción. Sismo en Ecuador - abril 2016*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Shackelford, J. (2005). *Introducción a La ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid: Pearson Educación.
- Sun, J., Tetsuro, O., Zhao, Y., & Wang, W. (2003). *Lateral load pattern in pushover analysis. Earthquake Engineering and Engineering Vibration* 2(1), 99–107.
- Untuña, C. (2021). *Evaluación sísmica basada en desempeño según FEMA P-58 del Hospital General Docente Ambato*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## Anexos

**Anexo 1:** Cargas distribuidas asignadas a vigas en el modelamiento UE1

**Anexo 2:** Cargas laterales nodales en sentido X de la UE1

**Anexo 3:** Cargas laterales nodales en sentido Y de la UE1

**Anexo 4:** Cargas distribuidas asignadas a vigas en el modelamiento UE2

**Anexo 5:** Cargas laterales nodales en sentido X de la UE2

**Anexo 6:** Cargas laterales nodales en sentido Y de la UE2

**Anexo 7:** Cargas distribuidas asignadas a vigas en el modelamiento UE3– Caso 1

**Anexo 8:** Cargas distribuidas asignadas a vigas en el modelamiento UE3 – Caso 2

**Anexo 9:** Cargas laterales nodales en sentido X de la UE3

**Anexo 10:** Cargas laterales nodales en sentido Y de la UE3